4O Kemia

Arto Liljeblad
Susanna Pehkonen
Tuula Sorjonen
Kirsi-Maria Vakkilainen
Sini Virtanen

Sanoma Pro Oy
Helsinki

Tiedustelut
Sanoma Pro Oy, Helsinki
puh. 020 391 000
sähköposti: asiakaspalvelu@sanomapro.fi

www.sanomapro.fi

Kustantaja: Sanoma Pro Oy
Tämä aineisto on digitaalinen rinnakkaisversio tuotteesta
ISBN 978-952-63-1495-2

6 kk lisenssi ISBN 978-952-63-2478-4
48 kk lisenssi ISBN 978-952-63-2479-1

Toimitus: Johanna Patokoski, Marja-Leena Simonen-Tikka
Ulkoasu: Tarja Lamberg
Taitto: Printable / Pirkko Pihlaja
Kuvitus: Pekka ja Tuomas Könönen / Picman Oy, Arto Liljeblad ja Marja-Leena Simonen-Tikka
Kuvatoimitus: Marja-Leena Simonen-Tikka ja Anita Kokkila
Kansi: Sari Jeskanen

© Arto Liljeblad, Susanna Pehkonen, Tuula Sorjonen,
Kirsi-Maria Vakkilainen, Sini Virtanen ja Sanoma Pro Oy

Kopiointiehdot

Tämä teos on digitaalinen oppikirja, joka on suojattu tekijänoikeuslailla (404/61).

Sisällysluettelo

Kirjan käyttäjälle 4

Osa 1

Kemian ylioppilaskoe 5

Osa 2

Jakso 1 Aine 13
1. Aineen rakenne 14

Jakso 2 Reaktiot ja stoikiometria 29
2. Reaktioyhtälöt 30
3. Sähkökemia 44

Jakso 3 Reaktion energia ja tasapaino 61
4. Reaktion eteneminen ja tasapaino 62
5. Happo-emästasapaino 76

Jakso 4 Orgaaninen kemia 87
6. Orgaaniset yhdisteet 88
7. Orgaanisten yhdisteiden reaktioita 110

Jakso 5 Kokeellinen kemia 129
8. Kokeellinen kemia 130

Jakso 6 Kemian sovellukset 145
9. Ympäristökemia 146
10. Biokemia 164
11. Materiaalikemia 186

Osa 3

Käsitteet 195
Vastaukset 216
Hakemisto 218

Kirjan käyttäjälle

YO Kemia -kirja on tehty ylioppilastutkinnon kemian kokeeseen sekä korkeakoulujen ja yliopistojen pääsykokeisiin valmistautuville opiskelijoille. Kirja soveltuu niin itsenäiseen opiskeluun kuin käytettäväksi kertauskursseilla. Kirja on saatavilla sekä painettuna että digikirjana.

YO Kemia koostuu kolmesta osasta, joista ensimmäisessä annetaan ohjeita ylioppilaskokeisiin valmistautumista varten. Lue huolellisesti nämä ohjeet ennen kuin aloitat kertaamisen ja kertaa ne vielä juuri ennen koetta.

Kirjan toisessa osassa on kuusi jaksoa, joista jokainen sisältää yhdestä kolmeen lukua. Ensimmäinen jakso keskittyy aineeseen, rakenneosiin ja sidoksiin. Toisessa jaksossa kerrataan reaktioyhtälön laskennallinen osuus sekä sähkökemia ja kolmannessa jaksossa tasapainoreaktioiden teoria ja soveltaminen. Neljäs jakso on tiivis paketti orgaanista kemiaa, viides jakso kokeellisuutta. Kuudes jakso keskittyy kemian sovelluksiin ja osittain oppiainerajat ylittäviin teemoihin, kuten biokemiaan. Jokaisen jakson kaikkiin lukuihin kuuluu tekstin sisällä olevia esimerkkitehtäviä, joiden ratkaisut esitetään heti tehtävän jälkeen. Ne auttavat hahmottamaan teorian käyttämistä tehtävien ratkaisuissa. Lukujen loppuun on sijoitettu harjoitustehtäviä sekä ylioppilas- ja pääsykoetehtäviä. Tehtävistä löytyy niin perustehtäviä kuin vaativia tehtäviä, jotka on merkitty omalla -tunnuksella. Tähtitehtävien ratkaiseminen voi vaatia vahvaa matemaattista osaamista tai kemian tietojen soveltamista. Kirjasta löytyvät tehtävien numeeriset ratkaisut. YO Kemia -digikirjan mukana saat täydelliset ratkaisut kaikkiin kirjan tehtäviin.

Tärkeä apuväline ylioppilaskirjoituksissa on taulukkokirja, jonka käyttöön YO Kemia -kirjassa opastetaan -symbolilla. Symbolin vieressä olevan otsikon avulla löydät oikeat sivut taulukkokirjasta. YO Kemia sisältää myös paljon selventäviä kaavioita ja taulukoita, joiden kautta kokonaisuudet on helpompi hahmottaa.

Kirjan kolmas osa sisältää laajan käsiteluettelon, jonka avulla voit harjoitella ja kerrata käsitteiden määritelmiä. Lisäksi kolmannesta osasta löytyvät hakemisto sekä tehtävien oikeiden vastausten numeroarvot.

Toivomme, että YO Kemia auttaa sinua menestymään kokeissasi!
Helsingissä 21.10.2013

Tekijät

OSA 1

Kemian ylioppilaskoe

Ohjeita kokeeseen valmistautumista varten

Ohjeita koevastauksen kirjoittamiseen

Ohjeita kokeeseen valmistautumista varten

Ylioppilastutkinto

- Yhdellä tutkintokerralla järjestetään kaksi reaaliaineiden koepäivää. Kemian kanssa samana päivänä pidetään evankelis-luterilaisen uskonnon, ortodoksisen uskonnon, elämänkatsomustiedon, yhteiskuntaopin, maantieteen ja terveystiedon kokeet. Yhtenä koepäivänä kokelas voi suorittaa vain yhden reaaliaineen kokeen.
- Koeaika on yleensä kuusi tuntia, klo 9–15. Poistua saa aikaisintaan klo 12.
- Kokeeseen osallistumisen edellytyksenä on, että aineen pakolliset kurssit on suoritettu. Kemiassa tämä tarkoittaa Ihmisen ja elinympäristön kemiaa (KE1) -kurssin suorittamista.
- Kemian kokeessa saa käyttää apuvälineinä ylioppilaslautakunnan määräysten mukaisia laskimia ja taulukkokirjoja. Kokeessa ei saa olla mukana laskinten erillisiä käyttöohjeita, lisämuisteja eikä tiedonsiirtoon tarkoitettuja välineitä. Laskinta ei myöskään saa lainata kokeen aikana kokelaalta toiselle.
- Koesaliin ei saa viedä matkapuhelinta tai muita elektronisia laitteita lukuun ottamatta tarkistettuja laskimia.
- Jo vilpin yritys on peruste sille, että kokelas menettää oikeutensa osallistua kokeisiin kyseisellä tutkintokerralla. Koesuoritukset arvostellaan tällöin hylätyiksi.
- Tarkat ohjeet ylioppilaskokeeseen löytyvät ylioppilastutkintolautakunnan sivuilta osoitteesta www.ylioppilastutkinto.fi.

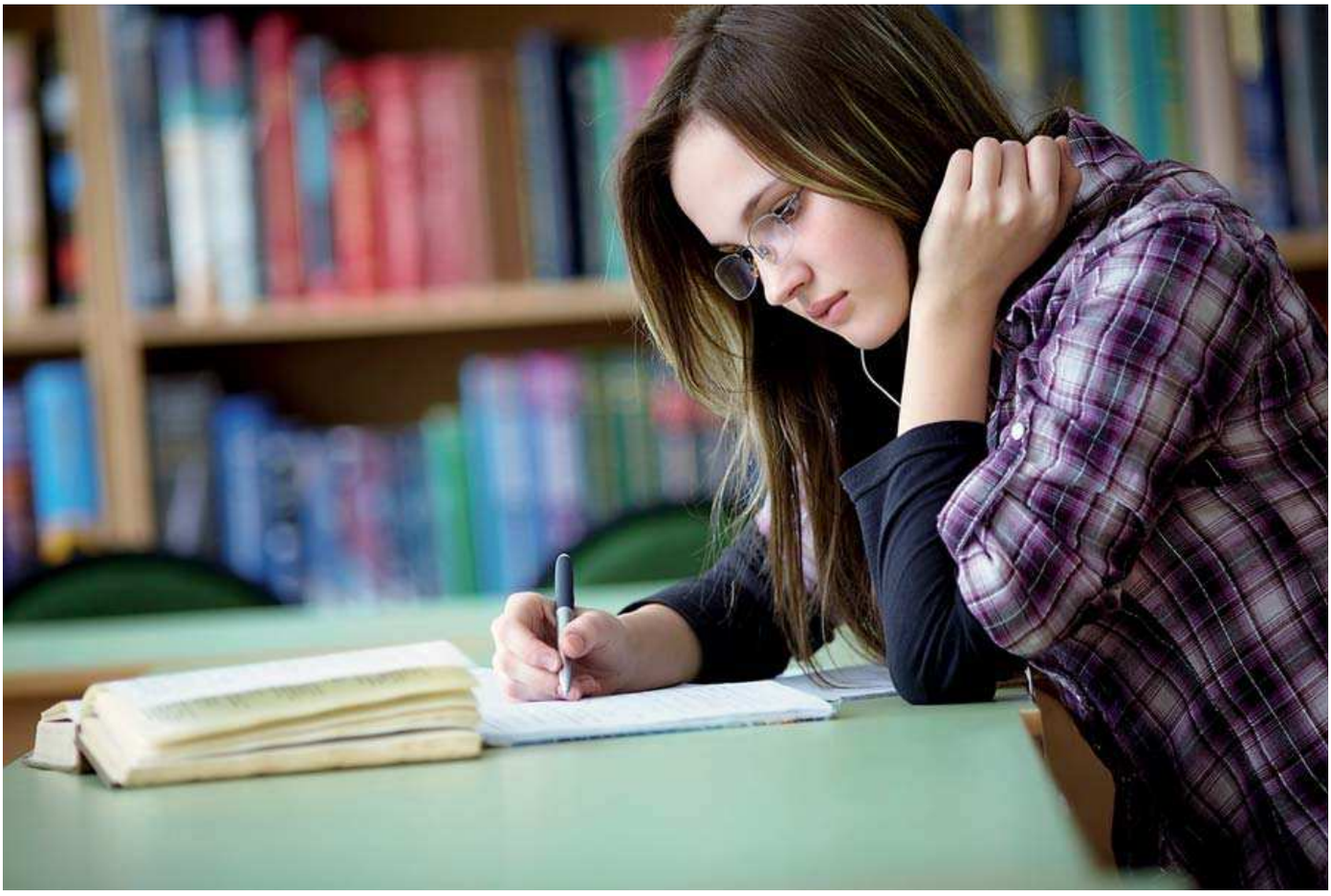
Kokeeseen valmistautuminen

- Tee itsellesi lukusuunnitelma. Muista pitää välillä taukoja ja syödä hyvin. Nuku kunnolla, sillä se edistää oppimistasi.
- Käy läpi pari viimeisintä kemian ylioppilaskoetta. Luetteloi niiden avulla asioita ja aihealueita, jotka osaat paremmin, ja asioita, jotka vaativat vielä paljon työtä.
- Käy läpi kurssikirjat ja niiden tehtävät. Jäsentele asioita esimerkiksi käsitekarttojen avulla.
- Hyvä laskurutiini on välttämätön, jotta selviät kokeesta annetussa ajassa. Harjoittele kaikentyyppisiä laskuja.
- Kertaa käsitteet. Harjoittele käsitteitä tämän kirjan lopusta löytyvän käsiteluettelon avulla. Mieti sopiva esimerkki kuhunkin käsitteeseen.
- Tutustu laskimeesi ja käy läpi sen erilaiset toiminnot. Harjoittele laskimen käyttöä paljon.

– Tutustu taulukkokirjaan. Opettele käyttämään sitä ja paina mieleesi, mitä tietoja siitä löytyy.

Ennen koepäivää

– Vie laskimet ja taulukkokirjat viimeistään 1–2 arkipäivää ennen koetta koululle tarkistettavaksi. Varmista oman koulusi palautusaikataulu! Tarkistetut laskimet ja taulukkokirjat jaetaan kokelaille koetilaisuuden alussa.
– Tyhjennä laskimesi muisti ja nollaa ohjelmistot, ennen kuin jätät laskimen tarkistettavaksi. Jos laskimen tyhjennyksessä on jotain epäselvää, laskinta ei hyväksytä kokeeseen. Muista huolehtia, että laskimessasi on riittävästi virtaa kokeen ajaksi.
– Tarkista myös taulukkokirjasi. Taulukkokirjassa ei saa olla mitään lisättyjä tietoja, merkintöjä tai alleviivauksia. Taulukkokirjan sivuja ei saa merkitä esimerkiksi taittamalla sivujen kulmia.



Ylioppilaskokeeseen valmistautuminen vaatii työtä. Koepäivää edeltävänä iltana kannattaa ulkoilla, syödä kevyesti ja mennä aikaisin nukkumaan. Koepäivänä et voi tehdä muuta kuin yrittää parhaasi!

Koetehtävät

- Kemian kokeessa on 12 tehtävää, joista vastataan enintään kahdeksaan tehtävään. Jos jätät arvosteltavaksi enemmän kuin kahdeksan vastausta, kokeesi arvostelussa otetaan huomioon ne vastaukset, joiden pistesumma on pienin.
- Kokeen ensimmäinen vastaus kirjoitetaan kokoarkille ja muut vastaukset puoliarkeille. Kullekin paperille saa kirjoittaa vain yhden tehtävän suorituksen. Jos vastauksesi on niin pitkä, että se jatkuu toiselle arkille, merkitse se selvästi.
- Koetehtävät on järjestetty vaikeusasteen mukaan siten, että tehtävät vaikeutuvat loppua kohti.
- Tehtäväsarjan kaksi viimeistä tehtävää ovat jokeritehtäviä, jotka on merkitty tehtävänumeron edessä olevalla +-merkillä. Kumpaankin jokeritehtävään saa vastata.
- Jokeritehtävien maksimipistemäärä on yhdeksän pistettä. Muiden tehtävien maksimipistemäärä on kuusi pistettä.
- Jokeritehtävät voivat sisältää esimerkiksi mittaustulosten tulkintaa ja käsittelyä, koejärjestelyn perustelua, esseetehtäviä, vaativia laskutehtäviä, joihin on lisätty teoriaa, ympäristökemian sovelluksia tai aineistotehtäviä.

Tehtävien arvostelu

- Tehtävien eri osat arvostellaan 1/3-pisteen tarkkuudella ja loppusumma pyöristetään kokonaisiksi pisteiksi. Tehtävän sisällä olevia pieniä virheitä voi korvata jonkin toisen kohdan syvällisemmällä käsittelyllä.
- Kemian kannalta epätäsmällisestä kielenkäytöstä, huolimattomasti piirretyistä orgaanisten yhdisteiden rakennekaavoista tai huolimattomasta kaavojen kirjoittamisesta vähennetään 0–1 pistettä.
- Pienestä laskuvirheestä tai likiarvojen huolimattomasta käytöstä vähennetään 1/3–1 pistettä.
- Kemian opettaja tarkastaa ja arvostelee koesuoritukset alustavasti. Lopullisen arvostelun tekee ylioppilastutkintolautakunnan (YTL) sensorikunta.

Ohjeita koevastauksen kirjoittamiseen

Yleisiä ohjeita

- Vastaa tehtäviin hyvälaatuisella lyijykynällä. Piirroksissa voi käyttää värejä, mutta ei punaista, sillä se on varattu opettajan merkinnöille.
- Siisti käsiala ja selkeä ilmaisu helpottavat vastauksen arvioimista. Pyyhi virheelliset merkinnät pois. Jos kyseessä on pitkä virheellinen vastauksen osa, viivaa yli ne kohdat, joita et halua arvosteltavaksi.
- Jos kokeessa pyydetään piirtämään kuvaaja, käytä millimetripaperia.
- Lue ohjeet huolellisesti, ennen kuin aloitat vastaamisen.
- Älä juutu hankalaan asiaan pitkäksi ajaksi, vaan jatka toista tehtävää tai pidä tauko ja palaa asiaan myöhemmin.
- Perustele vastauksesi. Vaikka tehtävään voisi periaatteessa vastata vain ”kyllä” tai ”ei”, tällaisesta vastauksesta ei yleensä saa täysiä pisteitä.
- Käytä vastauksissasi kemiallisia kaavoja ja reaktioyhtälöitä. Kaavojen ja suureyhtälöiden perusteluista pitää käydä ilmi, että olet hahmottanut tilanteen oikein ja soveltanut asianmukaista periaatetta tai lakia.
- Näytä, että osaat erottaa pääperiaatteet vähäisistä yksityiskohdista.
- Selvennä tekstiä kuvilla ja piirroksilla ja esitä rakennekaavat huolellisesti.
- Käytä täsmällisiä merkintöjä. Muista käyttää oikein isoja ja pieniä kirjaimia, ala- ja yläindeksejä sekä reaktionuolia.
- Perustele tekemäsi johtopäätökset kemiallisesti, esimerkiksi: ”Le Châtelierin periaatteen mukaan veden poistaminen seoksesta siirtää reaktion tasapainoa lopputuotteiden suuntaan.”
- Tarkista lopuksi, että olet vastannut kahdeksaan tehtävään ja että vastauspapereissasi on ohjeiden mukaiset merkinnät. Jos papereissasi on enemmän kuin kahdeksan tehtävän vastaukset, yliviivaa vastauksista ne, joita ei arvostella.

Laskutehtävät ja reaktiot

- Kirjoita kaikki suureet, kaavat ja reaktioyhtälöt näkyviin.
- Tartu rohkeasti tehtävään, vaikka se vaikuttaisi hankalalta. Mieti, mitä osaat laskea annettujen tietojen perusteella ja yritä päästä siitä eteenpäin.
- Jos tehtävässä pyydetään reaktioyhtälöä, anna vastaukseksi reaktioyhtälö, johon on merkitty kertoimet ja olomuodot, mutta ei hapetuslukuja tai muita ylimääräisiä merkintöjä.

- Käytä orgaanisten yhdisteiden reaktioyhtälöissä rakennekaavoja. Niihin ei yleensä merkitä olomuotoja. Muista merkitä rakennekaavoihin näkyviin kaikki vedyt, ellet käytä viivakaavaa.
- Laskujen suureyhtälöt ja välivaiheet on kirjoitettava näkyviin, pelkkä oikea vastaus ei riitä. Jos teet laskuvirheen, voit saada oikein kirjoitettujen välivaiheiden perusteella pisteitä.
- Perustele ratkaisusi. Esimerkiksi ainemäärien vastaavuus on osoitettava reaktioyhtälön kertoimien avulla.
- Jos käytät symbolista laskinta, ratkaisuissa tulee käydä ilmi, mihin reaktioyhtälöön symboleineen ne perustuvat.
- Lukuarvot kannattaa sijoittaa kaavoihin vasta viimeisenä. Jos kuitenkin sijoitat niitä aiemmin, älä pyöristä välituloksia liikaa. Laskimen muistipaikkojen käyttö on hyvä keino välttää turhaa pyöristämistä. Merkitse vastaus selvästi.
- Pyöristä vastaus lopuksi pyöristyssääntöjen mukaan.
- Tarkista, onko vastaus järkevä. Ole tarkkana yksikönmuunnoksissa. Jotta välttäisit pilkkuvirheitä, mieti, missä suuruusluokassa vastaus on, ja vertaa saamaasi arvoa siihen.
- Lue, mitä tehtävänannossa kysyttiin, ja vastaa siihen. Jos esimerkiksi kysytään, onko reaktio endoterminen vai eksoterminen, et voi vastata numeroarvolla, vaan sinun on tulkittava laskusi tulos sanallisesti.
- Kun muistat kemian perusperiaatteet, vältät yleisimmät sudenkuopat. Esimerkiksi aineen katoaminen ja tyhjästä syntyminen ovat yleisiä virheitä.

Pyöristyssäännöt

Yhteen- ja vähennyslaskuissa lopputuloksen tarkkuus tulee
olla samaa suuruusluokkaa kuin epätarkimmassa lähtöarvossa. Esim. $4{,}3\ \text{g} - 0{,}02\ \text{g} \approx 4{,}3\ \text{g}$.

Kerto- ja jakolaskujen lopputuloksessa tulee olla yhtä monta merkitsevää numeroa
kuin epätarkimmassa lähtöarvossa.
Esim. $0{,}050\ \text{m} \cdot 11{,}5\ \text{m} \approx 0{,}58\ \text{m}^2$.

pH-arvoissa vain pilkun jälkeiset numerot katsotaan merkitseviksi numeroiksi.
Esim. pH-arvossa 7,23 on kaksi merkitsevää numeroa.

Muista, että vasta lopullinen vastaus pyöristetään!

Käsitteiden määrittelyt ja muut lyhyet selitystehtävät

- Käsitteen määrittelyksi ei riitä synonyymi.
- Älä sorru kehäpäätelmiin tai tehtävänannon toisteluun. Esimerkiksi lause ”Ilmastonmuutos tarkoittaa sitä, että ilmasto muuttuu” ei kerro aiheesta mitään uutta.
- Ole täsmällinen. Kokeen arvioija ei lue rivien välistä eikä arvaile, mitä olet tarkoittanut. Muista mainita sellaisetkin asiat, jotka tuntuvat sinusta itsestään selviltä: esimerkiksi sidoksiin osallistuvat atomien *ulko*elektronit, eivät mitkä tahansa elektronit.
- Kemian kokeessa puhutaan kemian termeillä: esimerkiksi sokeri liukenee veteen, ei sula.
- Hyvä esimerkki, piirros, reaktioyhtälö tai kaava osoittaa, että olet ymmärtänyt asian.
- Lue vastauksesi lopuksi ja mieti, määritteleekö se kysytyn asian aukottomasti.

Esseetehtävät

- Lue tehtävänanto huolellisesti ja vastaa siihen, mitä on kysytty.
- Hahmottele vastauksesi ja varmista sen jälkeen vielä kerran, että hahmotelmasi vastaa tehtävänantoa.
- Hahmotelma voi olla esimerkiksi käsitekartta, luettelo tai muu tapa selkeyttää asia mielessäsi. Mieti hahmotelmaa tehdessäsi, mitä kemian kaavoja, käsitteitä, reaktioita reaktioyhtälöineen jne. asiaan liittyy.
- Voit aloittaa kirjoittamisen esimerkiksi määrittelemällä keskeisimmät käsitteet. Näihin kuuluvat ainakin esseetehtävän otsikossa esiintyvät käsitteet.
- Kirjoita loogisesti ja johdonmukaisesti ja esitä asioiden syy-seuraussuhteita. Perustele esittämäsi asiat. Keskity olennaiseen: lisätiedot ja esimerkit ovat suotavia, aasinsillat ja aiheesta poikkeaminen eivät.
- Essee on laaja kirjoitelma. Vaikka otsikko olisi yksi sana, sen määrittely ei riitä esseeksi. Käsittele myös esimerkiksi ilmiön tai aineen merkitystä luonnossa ja teollisuudessa.
- Muista, että kemian esseen tulee olla kirjoitettu ”kemiaksi”. Tarkastele ilmiöitä ja asioita kemiallisesta näkökulmasta: esitä reaktioyhtälö, piirrä rakennekaava tai koejärjestely, kerro, mitä atomitasolla tapahtuu. Etenkin jokeritehtävissä kannattaa katsoa asioita myös muiden tieteiden näkökulmasta.
- Käytä esimerkkejä. Valitse mahdollisimman yksinkertaiset ja selkeät esimerkit. Poikkeuksien maininta katsotaan lisäansioksi.
- Piirrä kuvat, kuvaajat ja kaaviot huolellisesti ja nimeä niiden osat. Nimeä kuvaajien akselit ja kerro, mitä kuvaaja esittää. Pelkkä kuva ilman selitystä tai osien nimeämistä ei yleensä ole kovin informatiivinen.
- Kemian essee ei ole kaunokirjallinen teos, eikä siinä tarvitse olla hienoja loppulauseita tai yhteenvetoa. Käytä kuitenkin hyvää yleiskieltä ja vältä puhekielen ilmaisuja.

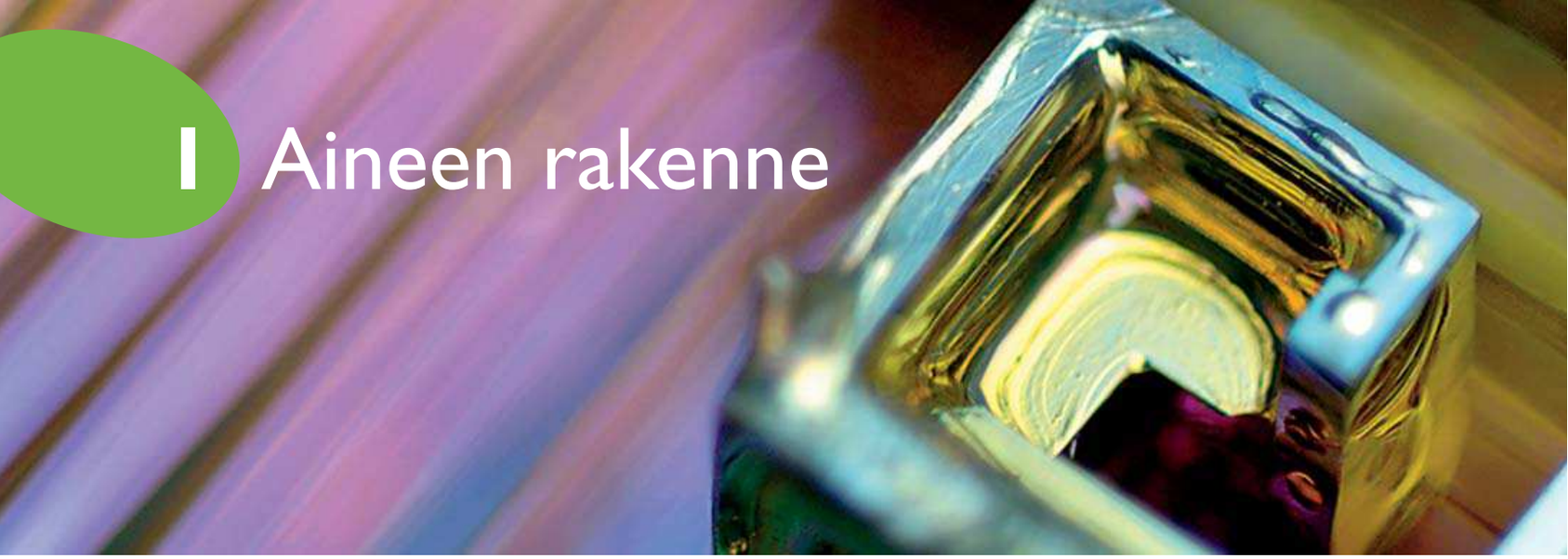
Onnistuminen tulee ennen opiskelua vain aakkosissa!

OSA 2

JAKSO I

Aine

I Aineen rakenne

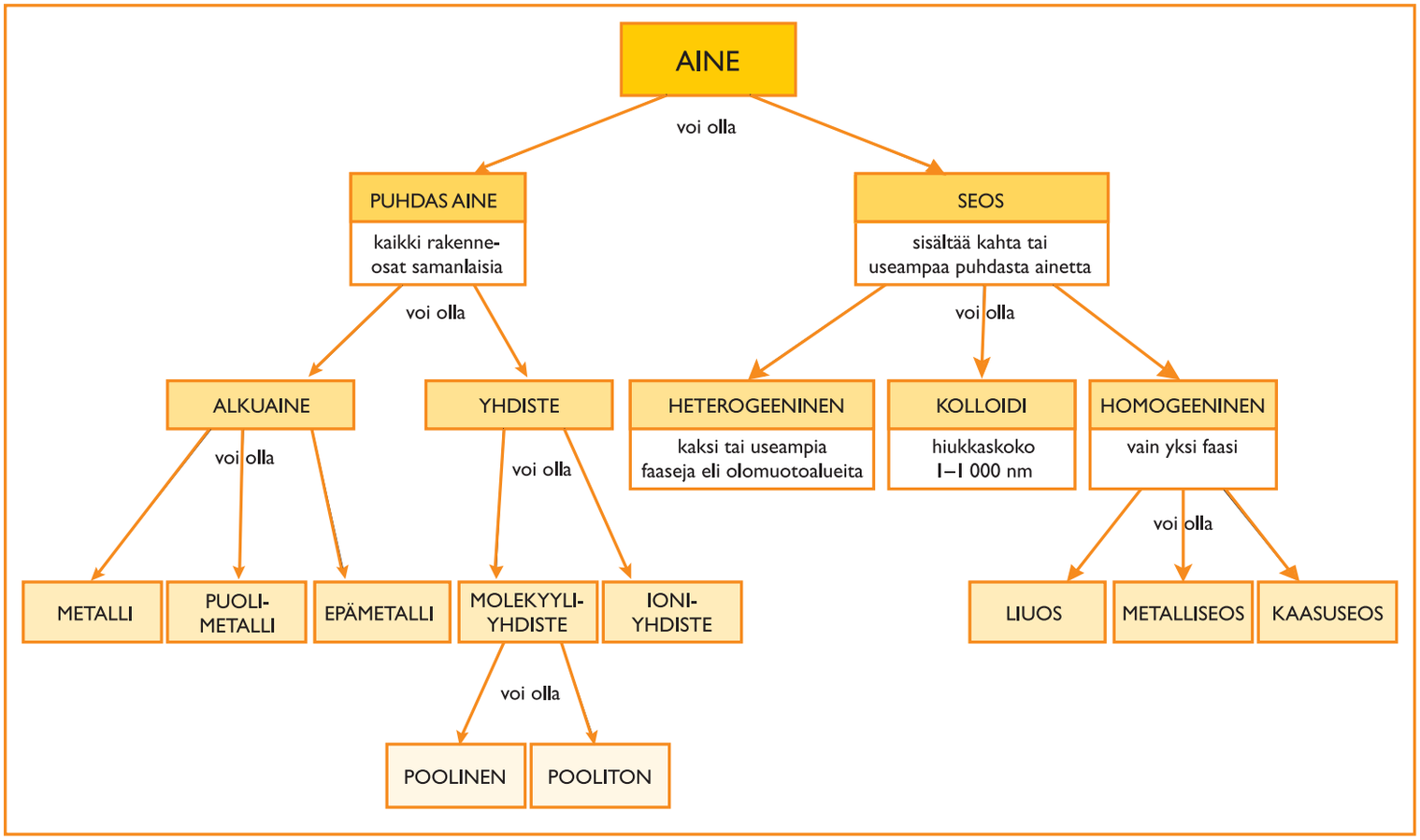


1 Aineen rakenne

Kemian ilmiöiden mallintamisessa siirrytään makromaailmasta mikromaailmaan. Aineiden ominaisuuksien selittämisessä ja ennustamisessa tarvitset tietoa aineen rakenneosista ja kemiallisista sidoksista. Harjoittele jaksollisen järjestelmän käyttöä ja sen avulla aineen rakenneosien tunnistamista.

Aineen luokittelu

Lähes kaikki luonnossa esiintyvät aineet ovat seoksia. Ne koostuvat puhtaista aineista, joiden rakenteita mallintamalla saadaan tietoa myös seosten ominaisuuksista ja aineiden välisistä reaktioista.



Aineen rakenneosat

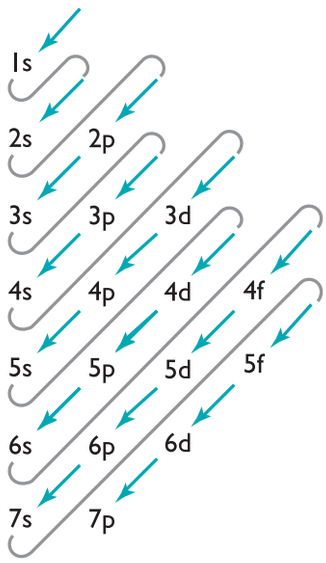
Aineen rakenneosa voi olla atomi, molekyyli tai erimerkkisten ionien muodostama yksikkö. Atomit ovat sellaisenaan metallien ja atomihilaisten aineiden rakenneosia. Esimerkiksi kiinteässä olomuodossa jalokaasuilla sekä muun muassa grafiitilla ja timantilla on atomihila. Molekyylit muodostuvat, kun atomit sitoutuvat toisiinsa yhteisillä sidoselektroneilla. Sen sijaan ionit muodostuvat, kun elektronit siirtyvät kokonaan atomilta toiselle.

Kvanttimekaanisen atomimallin mukaan elektroneilla on sekä hiukkas- että aaltoluonnetta. Orbitaali on alue, jolla elektroni todennäköisimmin liikkuu. Alueen muoto ja koko lasketaan Schrödingerin yhtälön avulla. Ajasta riippumattoman Schrödingerin yhtälön avulla voidaan määrittää atomin elektronin energiatilat neljän kvanttiluvun n, l, m ja s avulla. Pääkvanttiluku n kuvaa orbitaalin energiaa ja kokoa. Sivukvanttiluku l ilmaisee orbitaalityypin (s, p, d, f) ja magneettinen kvanttiluku m kuvaa elektronin energiaa magneettikentässä. Luku s on spinkvanttiluku, jonka voidaan ajatella kuvaavan elektronin oman akselin ympäri tapahtuvan pyörimisen suuntaa.

Elektronien sijoittuminen energiatasoille

- Minimienergiaperiaatteen mukaan elektronit asettuvat atomissa aina mahdollisimman alhaiselle energiatasolle.
- Hundin säännön mukaan elektronit asettuvat samanenergiaisille orbitaaleille samansuuntaisin spinein (parittomina) niin pitkälle kuin mahdollista.
- Paulin kieltosäännön mukaan atomilla ei voi olla kahta elektronia, joilla on täsmälleen sama energia.
- Pysyviä elektronirakenteita ovat oktetti, täysi energiataso, p-, d- ja f-alatasojen puolimiehitys sekä täysi alataso.

Alatasojen täyttymisjärjestys



Kalsiumatomin $_{20}Ca$ elektronirakenne voidaan kirjoittaa alatasojen täyttymisjärjestyksen avulla.

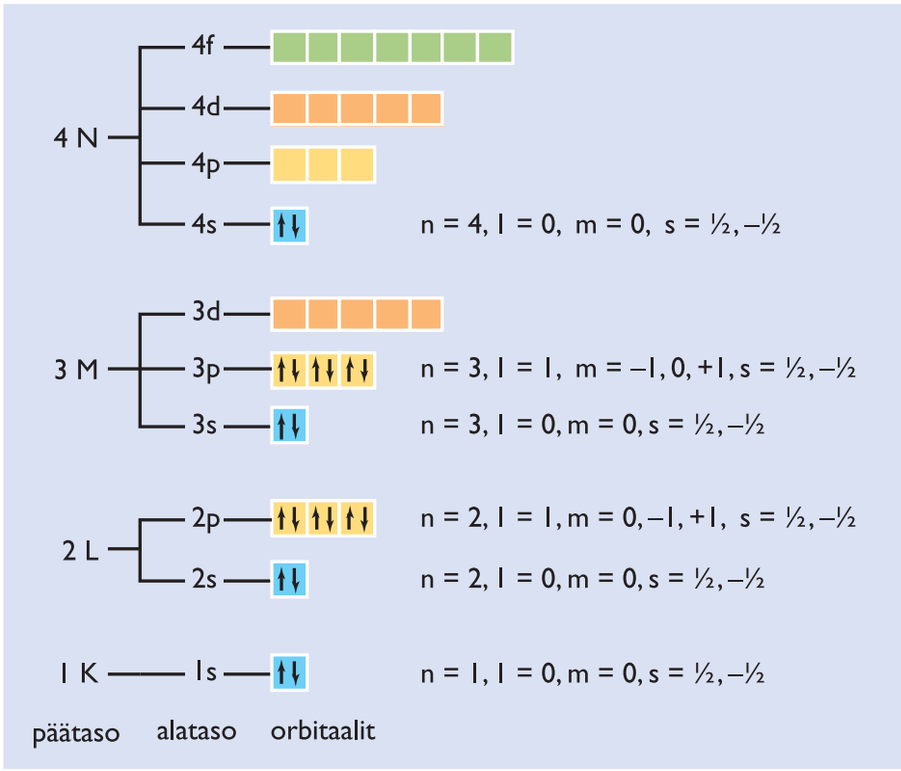
Ensin täyttyy 1s-alataso, jolle mahtuu kaksi elektronia ja sen jälkeen 2s-alataso.

Seuraavaksi täyttyvät 2p-alataso kuudella elektronilla, 3s kahdella ja 3p kuudella elektronilla.

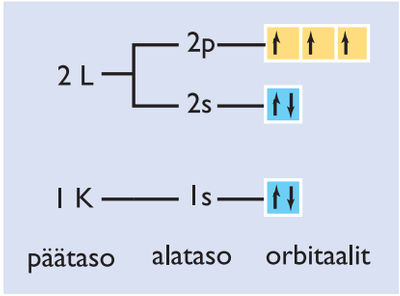
Näiden jälkeen kaksi elektronia sijoitetaan 4s-alatasolle. Kalsiumatomin elektronirakenne on siis

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$.

Kalsium $_{20}$Ca



Typpi $_{7}$N



Kuvissa on esitettynä typpi- ja kalsiumatomien elektronien sijoittuminen orbitaaleille.

ESIMERKKI

Elektronirakenne ja pysyvät rakenteet

Millainen on seuraavien atomien tai ionien elektronirakenne?

a) Ne

b) O^{2-}

c) Fe^{3+}

Miksi rakenne on pysyvä?

Ratkaisu

a) Neonatomin elektronirakenne on $1s^2 2s^2 2p^6$. Neonatomilla on uloimmalla energiatasolla kahdeksan ulkoelektronia eli oktetti, joka on pysyvä rakenne.

b) Happiatomin rakenne on $1s^2 2s^2 2p^4$. Oksidi-ionilla O^{2-} on 2p-orbitaalilla kuusi elektronia ja sen uloimmalla energiatasolla on näin ollen oktetti: $1s^2 2s^2 2p^6$.

c) Rauta-atomin rakenne on $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$. Rauta(III)-ionin muodostuessa rauta-atomi on luovuttanut kaksi 4s-elektronia ja yhden 3d-elektronin. Tällöin 3d-orbitaalille jää puolimiehitys (↑ ↑ ↑ ↑ ↑), joka on pysyvä rakenne. Rauta(III)-ionin elektronirakenne on $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$.

Atomien ja ionien suhteelliset koot

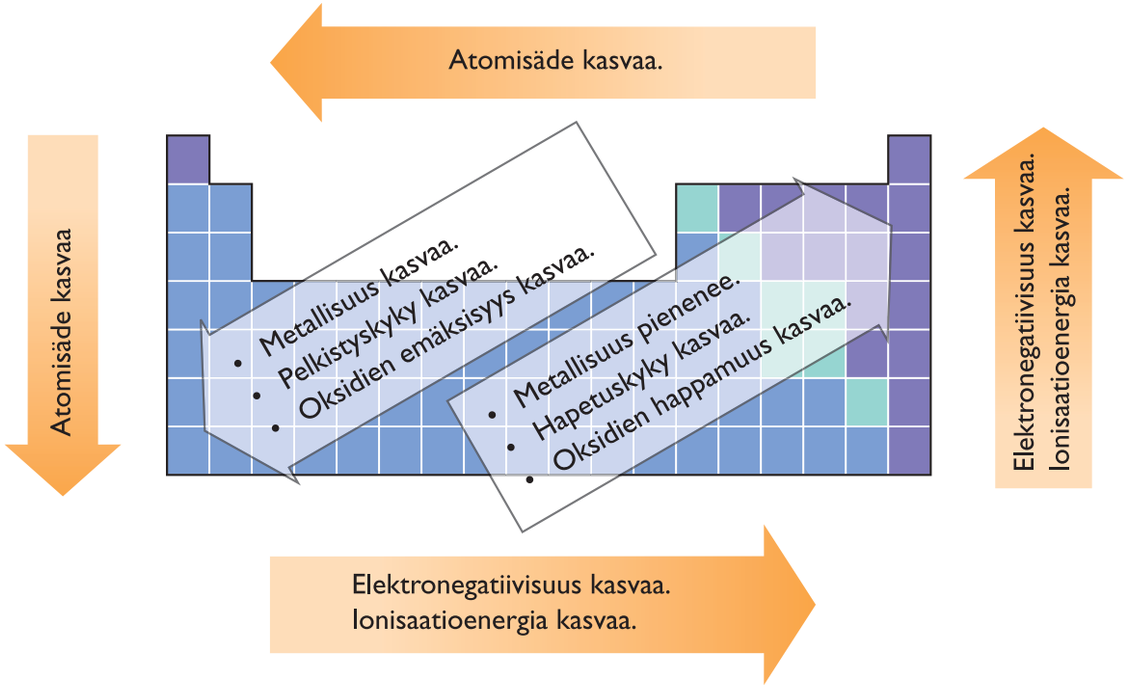
Pääryhmien alkuaineiden ionisoitumis-energioita kJ/mol

Jaksollinen järjestelmä

Alkuaineet on järjestetty jaksolliseen järjestelmään järjestysluvun mukaisesti.

– Vaakarivissä eli jaksossa alkuaineatomeilla on käytössä yhtä monta energiatasoa.
– Pystyriveillä ovat
  - pääryhmät (1–2, 13–18), joiden jälkimmäinen numero ilmaisee ulkoelektronien lukumäärän. Ulkoelektronit ovat sijoittuneet s- ja p-orbitaaleille.
  - sivuryhmät (3–12), joiden alkuaineatomeilla viimeiset elektronit sijoittuvat d- tai f-orbitaaleille.

Alkuaineiden ominaisuuksia, kuten hapetuskykyä ja reaktiivisuutta, voidaan ennustaa jaksollisen järjestelmän avulla.



Monet alkuaineiden ominaisuudet muuttuvat jaksollisessa järjestelmässä ryhmien ja jaksojen mukaan.

Sidosten luokittelussa etsitään puhdasta esimerkkiä kustakin sidoksesta. Mikään sidostyyppi ei esiinny sellaisenaan yksin, vaan kemiallinen sidos muodostuu eri tyyppien yhteisvaikutuksena.

Sidokset

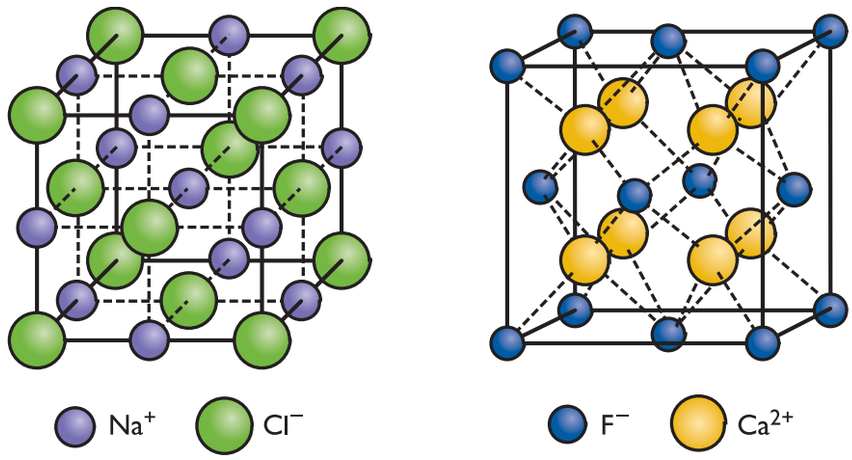
Atomit voivat saavuttaa energiaminimin sitoutumalla toisiin atomeihin, metalliatomit yleensä luovuttamalla ja epämetalliatomit vastaanottamalla elektroneja joko kokonaan tai osittain. Energiaminimi saavutetaan esimerkiksi jalokaasujen elektronirakenteella (oktettisääntö). Metallin ja epämetallin reagoidessa syntyy yleensä ioneja ja kahden epämetallin reagoidessa molekyylejä.

– Vahvat sidokset: ionisidos, kovalenttinen sidos ja metallisidos.
– Heikot sidokset: ioni-dipolisidos, dipoli-dipolisidos (erikoistapaus vetysidos) sekä dispersiovoimat.

Ionisidos

Ioni syntyy atomin luovuttaessa elektronin tai elektroneja toiselle atomille. Atomista muodostuu positiivisesti varautunut ioni eli kationi. Samalla atomista, joka vastaanotti elektronin tai elektronit, muodostuu negatiivinen ioni eli anioni. Ioneja voi syntyä esimerkiksi protoninsiirtoreaktioissa ja hapetus-pelkistysreaktioissa.

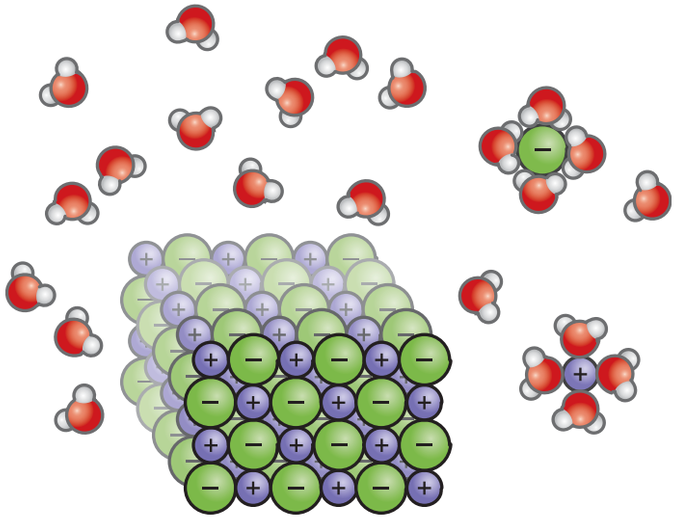
Positiivisten ja negatiivisten ionien välillä on sähköinen vetovoima, ionisidos. Varsin usein ioneissa on jalokaasuatomien elektronirakenne, joka on erityisen pysyvä. Muodostuneet ionit järjestäytyvät kolmiulotteiseksi ionihilaksi.



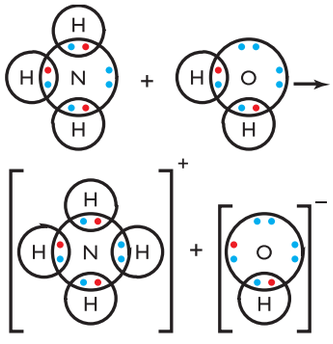
Natriumkloridissa Na^+- ja Cl^--ionien lukumäärien suhde on 1:1 ja kaava NaCl. Kalsiumfluoridissa Ca^{2+}- ja F^--ionien lukumäärien suhde on 1:2, ja kaava on CaF_2. Ionit järjestäytyvät siten, että samanmerkkisten ionien hylkimisvoima on mahdollisimman pieni ja erimerkkisten ionien välinen vetovoima mahdollisimman suuri.

Ioniyhdisteiden liukeneminen

Ioniyhdisteiden yhteisiä ominaisuuksia:
- sähkönjohtavuus liuoksina ja sulatteina
- yleensä korkeat sulamis- ja kiehumispisteet
- kiteet kovia
- liukenevat veteen ioneina ja liuetessa tapahtuu hydratoituminen.



Ioniyhdisteiden liuetessa ionisidokset purkautuvat ja ionien ja vesimolekyylien välille muodostuu ioni-dipolisidoksia. Vesimolekyylissä on vety- ja happiatomin välillä yksinkertainen poolinen kovalenttinen sidos ja vesimolekyylien välillä on vetysidoksia. Vetysidoksia ja ioni-dipolisidoksia syntyy ja purkautuu jatkuvasti.

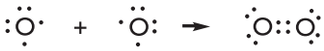


Esimerkki koordinaatiosidoksen muodostumisesta.

Kovalenttinen sidos

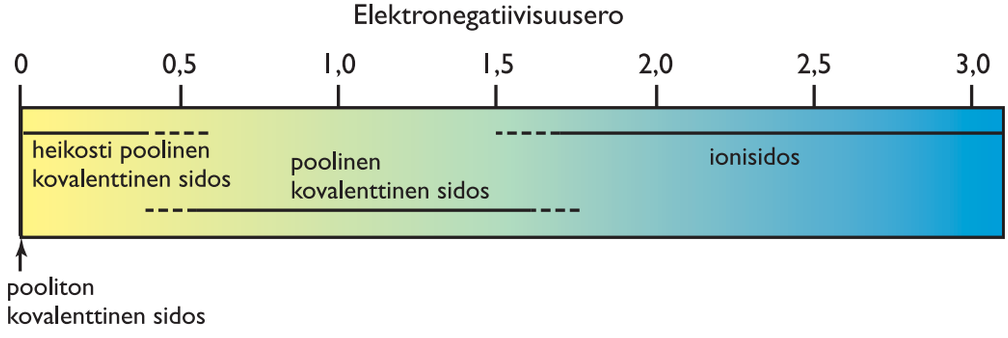
Kovalenttisessa sidoksessa atomien välillä on 1–3 yhteistä elektroniparia.
- Yksinkertainen sidos: yksi yhteinen elektronipari, esim. vetymolekyylissä H_2.
  - Erikoistapaus on koordinaatiosidos, joka muodostuu, kun yhteinen elektronipari on peräisin vain toiselta sidosatomilta, esim. ammoniumioni NH_4^+.
- Kaksoissidos: kaksi yhteistä elektroniparia, esim. happimolekyylissä O_2.
- Kolmoissidos: kolme yhteistä elektroniparia, esim. typpimolekyylissä N_2.

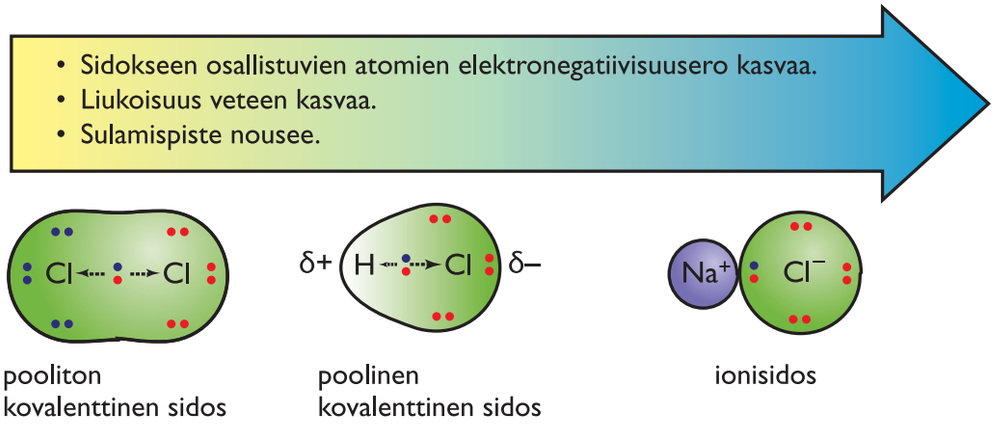
Pooliton kovalenttinen sidos syntyy, kun kaksi saman alkuaineen atomia on sitoutuneena toisiinsa. Kun kaksi eri atomia, joilla on eri elektronegatiivisuus, sitoutuu toisiinsa, ei sidoksen elektronitiheys ole symmetrisesti jakautuneena atomien kesken. Tällöin syntyy poolinen



Niin sanotuissa Lewisin rakenteissa valenssielektronit piirretään pisteinä alkuaineen kemiallisen merkin ympärille. Parittomien elektronien lukumäärä näyttää syntyvien sidosten määrän.

kovalenttinen sidos. Pienissä molekyyleissä sidoksen elektronegatiivisemmalla atomilla on negatiivinen osittaisvaraus σ^- ja vähemmän elektronegatiivisella atomilla positiivinen osittaisvaraus σ^+. Tällainen molekyyli on dipoli. Vesimolekyyli on esimerkki dipolista. Molekyylin muoto voi estää dipolin syntymisen. Esimerkiksi lineaarinen hiilidioksidimolekyyli on pooliton, vaikka sidokset ovat poolisia. Suuret molekyylit, jotka sisältävät runsaasti poolittomia tai heikosti poolisia sidoksia mutta vain vähän poolisia sidoksia, ovat niin heikosti poolisia, että ne käyttäytyvät kuin poolittomat yhdisteet.





Elektronegatiivisuus

Kovalenttisidoksen ioniluonne

Sidokseen osallistuvien alkuaineiden elektronegatiivisuusarvojen erotuksen itseisarvon avulla arvioidaan, onko yksittäinen sidos pooliton vai poolinen kovalenttinen sidos vai ionisidos. Tämän jälkeen arvioidaan sidosten poolisuuden merkitys molekyylin kokoon nähden ja se, onko kyseessä symmetrinen molekyyli.

Molekyylin muotoa mallinnetaan hybridisaation avulla. Hybridisaatiota käsitellään sivuilla 90–91.

Molekyylirakenteisten aineiden ominaisuuksia:

- Pooliset aineet liukenevat poolisiin liuottimiin, esimerkiksi veteen.
- Poolittomat aineet liukenevat poolittomiin liuottimiin, esimerkiksi bensiiniin.
- Pooliset aineet ovat kiinteinä aineina ja sulatteina eristeitä, vesiliuoksena joskus myös johteita.
- Poolittomat aineet ovat eristeitä.

Kiinteiden alkuaineiden ominaisuuksia

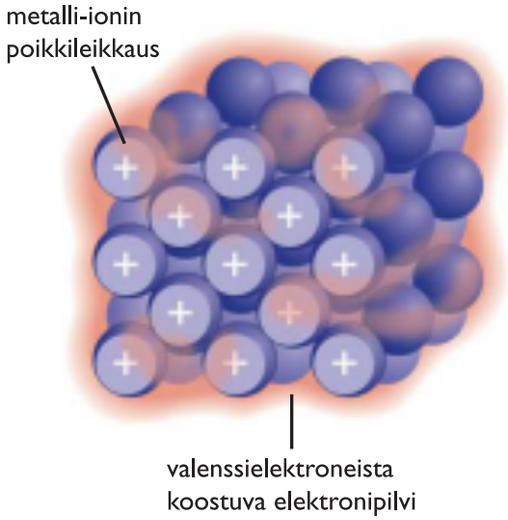
Metalliseosten ominaisuuksia

Metallisidos

Metallisidoksen yksinkertaisin malli koostuu positiivisista metallikationeista, joiden ympärillä yhteiseen käyttöön luovutetut ulkoelektronit liikkuvat vapaasti niin sanotussa elektronimeressä tai -pilvessä. Sidosta voidaan kuvata myös molekyyliorbitaaleilla, jotka ulottuvat koko metallikiteen alueelle.

Metallien ominaisuuksia ovat

- hyvä lämmön- ja sähkönjohtokyky
- metallinkiilto ja läpinäkymättömyys
- muokattavuus ja kestävyys
- korkea sulamis- ja kiehumispiste.



Metallihila koostuu positiivisista metalli-inoneista eli metallikationeista ja niiden välissä vapaasti liikkuvista uloimman kuoren elektroneista.

Huom! Vetysidoksen muodostumisen edellytys on se, että alkuaineet A ja B ovat vahvasti elektronegatiivisia.
A–H···B
vetysidos

Heikot sidokset

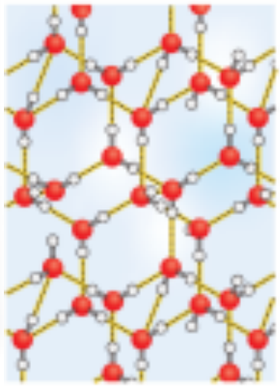
Heikot sidokset vahvimmasta heikoimpaan:

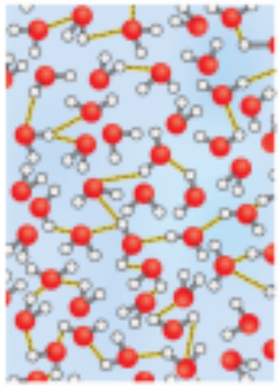
- ioni-dipolisidos
- vetysidos
- dipoli-dipolisidos
- dispersiovoimat.

Molekyylien välisistä sidoksista voidaan ennustaa molekyyliyhdisteiden ominaisuuksia. Pienet, epäsymmetriset molekyylit ovat useimmiten pysyviä dipoleja, ja niiden välille muodostuu dipoli-dipolisidoksia. Dipoli-dipolisidoksen erityistapaus on vetysidos. Tärkeimpiä vetysidosten muodostajia ovat typpi-, happi- ja fluoriatomit.

Sähköstaattisessa kentässä, esimerkiksi kondensaattorin levyjen välissä, poolisen molekyylin negatiivinen pää kääntyy kohti positiivista levyä ja molekyylin positiivinen pää kohti negatiivista levyä. Molekyylit vaikuttavat sähkömäärään, jonka varautunut levypari pystyy pitämään. Näin määritetään molekyylien dipolimomentin arvoja. Poolittomien molekyylien dipolimomentti on nolla.

Sähköisesti neutraalien atomien ja poolittomien tai heikosti poolisten molekyylien välillä vaikuttavat hetkellisistä dipoleista johtuvat heikot dispersiovoimat. Dispersiovoimia esiintyy kaikkien rakenneosien välillä, mutta niiden suuruus on usein muiden heikkojen sidosvoimien rinnalla vähäinen.





Jään rakenne on harva. Jään sulaessa rakenne luhistuu, kun osa vetysidoksista katkeaa ja veden tiheys onkin suurempi nesteenä kuin kiinteässä muodossa. Jäässä vesimolekyyli muodostaa neljä vetysidosta muihin vesimolekyyleihin. Nestemäisessä olomuodossa vetysidoksia syntyy ja purkautuu jatkuvasti ja yhtä vesimolekyyliä kohden vetysidoksia on keskimäärin 3,4. Vedessä vetysidokset ovat myös lyhyempiä kuin jäässä.

ESIMERKKI

Sidosten tunnistaminen

Mitä sidoksia on seuraavissa aineissa?

a) $H_2O(s)$
b) $MgCl_2(s)$
c) $Au(s)$
d) $LiBr(aq)$

Ratkaisu

a) Vesimolekyyleissä happi- ja vetyatomien välillä on yksinkertaiset, pooliset kovalenttiset sidokset. Jäässä vesimolekyylien välillä on vetysidokset.

b) Kiinteässä magnesiumkloridissa positiiviset magnesiumionit Mg^{2+} ja negatiiviset kloridi-ionit Cl^- vetävät toisiaan puoleensa ja muodostuu ionisidoksia.

c) Kiinteässä kullassa on metallihila, jossa yhteiset ulkoelektronit liikkuvat vapaasti positiivisten kultakationien välissä. Metallihilan vuorovaikutuksia kutsutaan metallisidoksiksi.

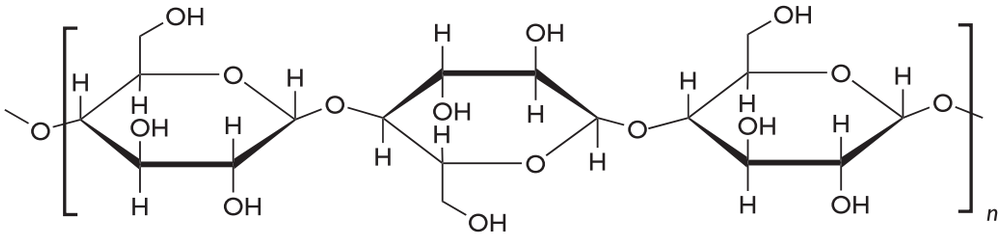
d) Litiumbromidin vesiliuoksessa on litiumionien Li^+ ja vesimolekyylien H_2O sekä bromidi-ionien Br^- ja vesimolekyylien välisiä ioni-dipolisidoksia. Vesimolekyylien negatiivisesti osittaisvarautuneet happiatomit ovat kääntyneet kohti litiumioneja ja positiivisesti osittaisvarautuneet vetyatomit kohti bromidi-ioneja. Vesimolekyyleissä on happi- ja vetyatomien välillä yksinkertaiset, pooliset kovalenttiset sidokset.

Suolojen liukoisuus veteen

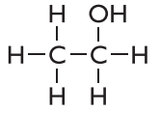
Orgaanisten aineiden ominaisuuksia

Aineen ominaisuudet

Aineen ominaisuuksia voidaan ennustaa sen rakenneosien avulla. Aineen olomuotoon vaikuttavat rakenneosien koko ja muoto sekä rakenneosien välisten sidosten voimakkuus. Sähkönjohtavuus edellyttää liikkuvia sähkövarauksia. Aineen vesiliukoisuus edellyttää, että vesimolekyylit voivat muodostaa vetysidoksia, dipoli-dipolisidoksia tai ioni-dipolisidoksia liukenevan aineen rakenneosien kanssa. Hyvin suurimolekyyliset yhdisteet liukenevat usein huonosti lähes kaikkiin liuottimiin, koska molekyylien välillä olevat useat heikot sidokset mahdollistavat molekyylien sitoutumisen tiukasti toisiinsa.



selluloosa



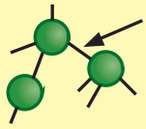
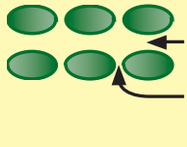
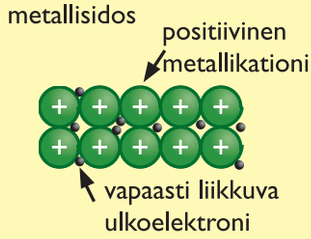
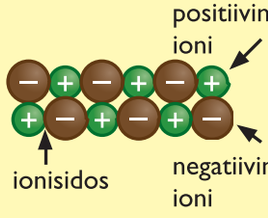
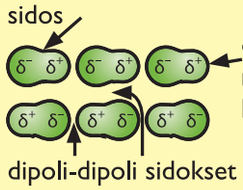
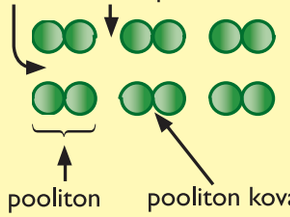
etanoli

Selluloosa liukenee huonosti veteen, sillä vaikka se on poolinen, se koostuu hyvin suurikokoisista molekyyleistä. Selluloosamolekyylien välillä on lukuisia vetysidoksia, jotka pitävät molekyylejä tiukasti kiinni toisissaan. Etanolin pienikokoiset ja pooliset molekyylit tekevät etanolista hyvin veteen liukenevan.

Aineen olomuodon muuttuessa aineen rakenneosien väliset sidokset purkautuvat. Mitä vahvemmat sidokset rakenneosien välissä on, sitä korkeampia ovat aineen sulamis- ja kiehumispisteet. Dispersiovoimat kasvavat aineen moolimassan kasvaessa.

Gekkoliskon kyky kävellä seinää tai kattoa pitkin ei perustu liima-aineisiin vaan heikkoihin sidoksiin. Gekkoliskon varpaissa on miljoonia mikroskooppisen pieniä tartuntakarvoja, jotka mahdollistavat heikkojen sidosten muodostumisen karvojen ja pinnan välille.

Kooste sidoksista ja aineen ominaisuuksista

Hilan rakenneosat	Hilan sidokset	Hilan muodostava alkuaine/-aineet	Esimerkkiaine	Aineen ominaisuuksia
Atomit	 pooliton kovalenttinen sidos	ryhmän 14 alkuaine	C, Si, SiC	– yleensä eriste – veteen liukenematon – kiinteänä kova
	 hetkellisistä dipoleista aiheutuvia dispersio-voimia	jalokaasu	Ne, Ar	– hyvin matala sulamis- ja kiehumispiste
Metallikationit ja yhteiset ulkoelektronit	metallisidos  positiivinen metallikationi vapaasti liikkuva ulkoelektroni Kationit ovat lähellä toisiaan, mikä aikaansaa tiiviin rakenteen.	metalli	Mg, Cu	– hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky – ei ole vesiliukoinen, voi reagoida veden kanssa – helposti muokattava – korkea sulamispiste – kiiltävä ja läpinäkymätön
Kationit ja anionit	 positiivinen ioni ionisidos negatiivinen ioni	epämetalli + metalli	$NaCl$, MgF_2	– kiinteänä eriste – sulana ja vesiliuoksena johde – usein vesiliukoinen – kova ja hauras – voi olla läpinäkyvä
Pooliset molekyylit	poolinen kovalenttinen sidos  dipoli-molekyyli dipoli-dipoli sidokset	epämetalli + epämetalli	NH_3, H_2O, HCl	– kiinteänä ja nesteenä eriste, vesiliuoksena joskus johde – usein vesiliukoinen – kiinteänä kova ja hauras
Poolittomat tai heikosti pooliset molekyylit	hetkellisistä dipoleista aiheutuvia dispersiovoimia  pooliton molekyyli pooliton kova-lenttinen sidos	epämetalli + epämetalli	O_2, CO_2	– eriste – veteen liukenematon – liukenee poolittomiin liuottimiin – pienimolekyyliset helposti haihtuvia

TEHTÄVIÄ

1. Etsi kuhunkin kohtaan alkuaine, jolle pätee ehto:
a) kuuluu jaksollisen järjestelmän toiseen ryhmään ja neljänteen jaksoon
b) huoneen lämpötilassa nestemäinen halogeeni
c) elektronegatiivisin alkuaine
d) alkalimetalli, jolla ei ole pysyviä isotooppeja
e) sivuryhmien alkuaine, jonka tunnistaa vihreästä liekkiväristä.

2. Mitä sidoksia esiintyy seuraavissa aineissa?
a) LiCl(s)
b) LiCl(aq)
c) Li(s)
d) $H_2(g)$
e) $CO_2(s)$
f) $NH_4Cl(l)$

3. Täydennä taulukkoon ioniyhdisteiden kaavat ja nimeä yhdisteet.

	Br^-	OH^-	CO_3^{2-}	N^{3-}
Na^+				
Fe^{2+}				
NH_4^+				
Al^{3+}				

4. Selitä, miksi seuraavilla atomeilla tai ioneilla on pysyvä rakenne.
a) Ar
b) F^-
c) Sr^{2+}
d) Os^{3+}

5. Kirjoita seuraavien molekyylien ja ionien rakenteet niin, että näkyvissä ovat kaikki uloimman kuoren elektronit (Lewis-rakenteet).
a) Superoksidi-ioni O_2^-
b) Vetyperoksidi H_2O_2
c) Hydroksidi-ioni OH^-
d) Vesi H_2O

6. Perustele rakenneosien välisten sidosten avulla seuraavien aineiden liukoisuus veteen ja olomuoto huoneenlämpötilassa.
a) C_3H_8
b) LiF
c) C_2H_5OH

7. Perustele, johtavatko seuraavat aineet sähköä.
a) $H_2O(l)$
b) CaO(s)
c) CaO(l)
d) CaO(aq)
e) CH_3COOH
f) $CH_3COOH(aq)$

8. Selitä rakenneosien tai sidosten avulla seuraavat ilmiöt.
a) Jalokaasut eivät muodosta helposti kemiallisia yhdisteitä.
b) Kiinteä magnesium johtaa sähköä, mutta kiinteä magnesiumkloridi ei.
c) Jaksollisen järjestelmän toisessa ryhmässä atomien koko suurenee edettäessä ryhmässä ylhäältä alaspäin.
d) Metalli-ionit ovat yleensä pienempiä kuin vastaavat metalliatomit, mutta epämetalli-ionit ovat suurempia kuin vastaavat epämetalliatomit.
e) Atomien koko pääsääntöisesti pienenee siirryttäessä jaksollisen järjestelmän jaksossa vasemmalta oikealle.
f) Sivuryhmien alkuaineilla on useita hapetuslukuja.

9. Perustele, kummalla aineella on korkeampi sulamispiste:
a) etaani ja etanoli
b) dietyylieetteri ja butan-1-oli
c) pentaani ja dimetyylipropaani.

10. Minkä alkuaineen isotooppimerkintä on kyseessä kohdissa a–c?

a) $^{67}_{31}X$
Isotooppia käytetään tulehduskuvantamisessa.

b) $^{13}_{7}X$
Isotooppia käytetään kudoksen läpi virtaavan nesteen tutkimuksessa.

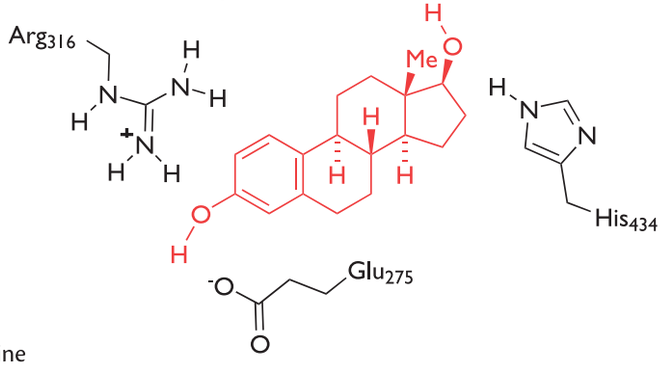
c) $^{131}_{53}X$
Isotooppia käytetään kilpirauhasen toiminnan tutkimuksessa sekä kilpirauhasen liikatoiminnan ja kilpirauhassyövän hoidossa.

d) Boorineutronisädehoidossa (BNCT) syöpäpotilaan verenkiertoon annostellaan booria, joka kerääntyy kasvaimeen kantaja-aineen avulla. Sen jälkeen ydinreaktorista ammutaan kasvainsoluihin neutroneita. Tällöin syntyy lyhytikäinen boori-11-isotooppi, joka hajoaa kahdeksi suurempienergiseksi hiukkaseksi. Nämä tuhoavat syöpäsolut mutta säästävät ympäröivän terveen kudoksen. Toisin kuin tavallisessa sädehoidossa, syöpäsolut tappava säteily syntyy solujen sisällä ja säteily saadaan kohdennettua kohteeseen tarkasti. Kirjoita viivoille boori-11-isotoopin merkintä muodossa $^{A}_{Z}X$ ja päättele muodostuva partikkeli.

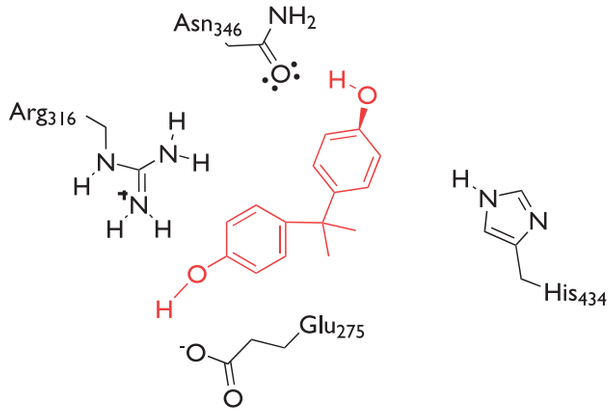
$^{10}_{5}B$ + $^{1}_{0}n$ → ——— → ——— + $^{4}_{2}He$

Lähtöaine | neutroni | boori-11 | ? | alfa-hiukkanen

11. a) 17β-estradioli on steroidihormoni, jonka on vaikuttaakseen mentävä solukalvon läpi ja sitouduttava solunsisäiseen reseptoriin. Estradioli kiinnittyy reseptoriin mm. kolmella vetysidoksella. Alla olevassa reseptorikuvassa vain vetysitoutuvat aminohappotähteet (Glu275, Arg316, His434; aminohapon kirjaintunnuksen jälkeinen numero kuvaa aminohapon järjestystä peptidiketjussa) on piirretty näkyviin. Piirrä kuvaan vetysidokset.



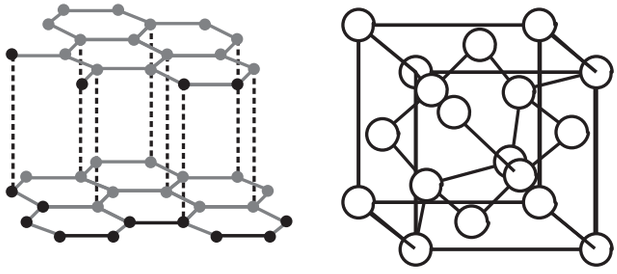
b) Bisfenoli-A (BPA) on PVC-muovin pehmennin ja yleisin polykarbonaattimuovin (PC, muovi nro 7) monomeeri. Se sitoutuu samaan estradiolin reseptoriin samankaltaisen muodon takia (ks. kuva alla). BPA:n toinen OH-ryhmä ei ylety His434:ään; Asn346 sen sijaan on sopivalla etäisyydellä. Niinpä BPA on hormonihäiritsijä, jolla on todettu olevan yhteys mm. sydän- ja verisuonisairauksien syntyyn, hedelmällisyyteen, erektiohäiriöihin, oppimiseen ja immuunijärjestelmään. Polykarbonaattimuovi on kovaa kirkasta muovia, jota käytettiin monien tuttipullojen raaka-aineena. Ko. muovin käyttö tuttipulloissa kiellettiin EU:n direktiivillä, joka toimeenpantiin maa- ja metsätalousministeriön asetuksella 1.6.2011 alkaen. Joissakin metallisissa säilyketölkeissä oleva valkoinen sisäosa on epoksihartsia (polymeeri), joka on valmistettu BPA:sta ja epikloorihydriinistä. BPA:n onkin havaittu jossain määrin siirtyvän säilykeruokaan epätäydellisen polymeroinnin takia.
Piirrä kuvaan vetysidokset.



YLIOPPILASTEHTÄVIÄ

12. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilen kahden allotrooppisen muodon, timantin ja grafiitin, rakenteet. Mitä käsite allotropia tarkoittaa? Kumpi rakenteista esittää timanttia ja kumpi grafiittia? Millainen rakenne aineilla on, ja mitä sidosvoimia niissä esiintyy? Miten rakenteiden avulla voidaan selittää erot aineiden fysikaalisissa ominaisuuksissa?

S-95 tehtävä 7

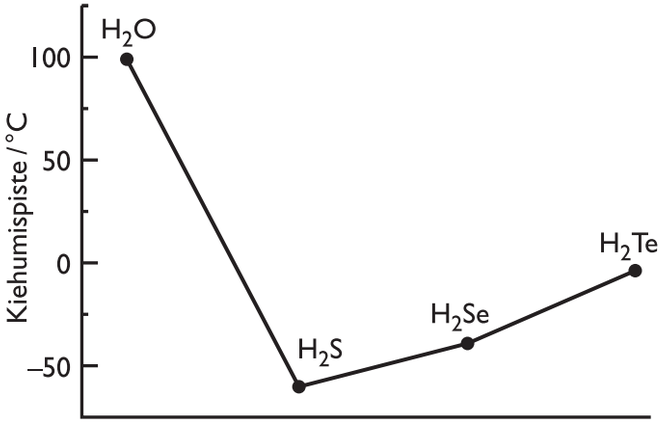


13. Miten veden ominaisuudet voidaan selittää vesimolekyylin rakenteen perusteella?

K-98 tehtävä 1

14. Oheisessa kuvassa on esitetty jaksollisen järjestelmän happiryhmän vety-yhdisteiden kiehumispisteet. Mitkä tekijät vaikuttavat kuvaajan muotoon?

K-01 tehtävä 3



15. Ovatko seuraavat molekyylit poolisia (polaarisia) vai poolittomia:

a) vesi
b) ammoniakki
c) metaani?

Perustele. Mitä sidoksia esiintyy molekyylien välillä näiden aineiden nestemäisessä olomuodossa?

S-02 tehtävä 6

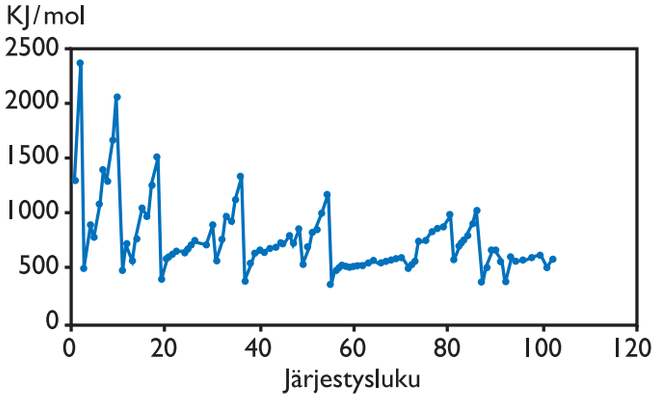
16. Selvitä, mistä seikoista johtuu, että

a) kulta on tunnettu muinaisista ajoista saakka, rautaa käytettiin ainakin jo 2500–3000 vuotta eKr., mutta alumiinista tehtyjä esineitä on alettu valmistaa vasta 1800-luvun lopulta lähtien,
b) nykyisin tunnetaan lähes 2000 erilaista atomia, mutta vain 109 alkuainetta.

S-95 tehtävä 1

17. Mitä tarkoitetaan atomin ionisoitumisenergialla? Oheisessa kuvassa on esitetty ensimmäisen ionisoitumisenergian arvo (kJ/mol) eri alkuaineille. Miten kuvassa näkyviä muutoksia voidaan perustella, ja mitä johtopäätöksiä tällä perusteella voidaan tehdä atomien elektronirakenteista?

K-06 tehtävä 5



18. a) Mitä tarkoitetaan käsitteellä isotooppi?
b) Hiilellä on kaksi pysyvää isotooppia $^{12}_{6}C$ ja $^{13}_{6}C$. Miten nämä isotoopit eroavat kemiallisesti ja fysikaalisesti toisistaan?
c) Mihin alkuainetaulukossa esiintyvä hiilen suhteellinen atomimassa 12,01 perustuu?
d) Hiilellä esiintyy myös pitkäikäinen pysymätön isotooppi $^{14}_{6}C$. Mihin tarkoitukseen tätä isotooppia käytetään?

K-11 tehtävä 3

19. Asetoni (propanoni) on teollisuudessa yleisesti käytetty liuotin.
a) Piirrä asetonin rakennekaava, josta ilmenee molekyylin muoto, sidosten välisten kulmien suuruus ja mahdolliset atomien vapaat elektroniparit.
b) Onko asetonimolekyyli poolinen vai pooliton? Perustele vastauksesi.
c) Selitä, miksi asetonin kiehumispiste (56,5 °C) on alempi kuin 1-propanolin kiehumispiste (97,2 °C), vaikka aineiden moolimassat ovat likimain yhtä suuret.

K-11 tehtävä 4

20. Agatha Christien teoksessa ”Totuus hallavan hevosen majatalosta” mystisten kuolemien syyksi selviää talliummyrkytys. Talliumyhdisteet ovat ihmiselle myrkyllisiä, koska Tl^+-ioni muistuttaa kemiallisesti ja biologisesti K^+-ionia. Vuonna 1976 pikkutyttö otettiin Lontoon Hammersmithin sairaalaan omituisten myrkytysoireiden takia. Christien kirjan lukenut sairaanhoitaja tunnisti talliummyrkytyksen oireet. Tyttö oli nauttinut tallium(I)sulfaattia, jota käytettiin siihen aikaan yleisesti rotanmyrkkynä.

Tallium(I)ioni voidaan vesiliuoksesta todeta erittäin herkällä osoitusreaktiolla:

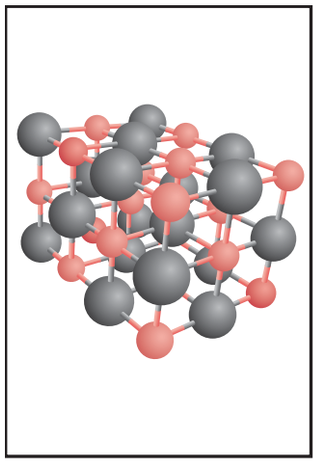
$$Tl^+(aq) + I^-(aq) \rightarrow TlI(s)$$

a) Kirkkaankeltaista tallium(I)jodidia saadaan myös Tl^{3+}-ionin reagoidessa vesiliuoksessa kaliumjodidin kanssa. Samalla muodostuu kiinteää jodia. Laadi reaktioyhtälö.
b) Talliummyrkytyspotilaalle annetaan vasta-aineena kaliumrauta(III)heksasyanoferraatti(II)-kompleksia, $KFe[Fe(CN)_6]$. Tällöin Tl^+-ioni vaihtaa paikkaa K^+-ionin kanssa ja poistuu kehosta vesiliukoisena suolana. Kuinka monta grammaa vasta-ainetta tarvitaan vähintään, jos pikkutyttö on syönyt 0,4 grammaa tallium(I)sulfaattia?
c) Yhdisteissään tallium voi esiintyä Tl^+-ionina ja Tl^{3+}-ionina. Päättele talliumin elektronirakenteen perusteella, miksi tallium suosii juuri näitä ionimuotoja?

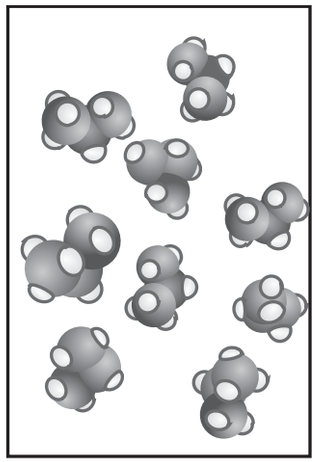
K-08 tehtävä 4

21. a) Mitä tarkoitetaan käsitteellä alkuaine?
b) Mikä tai mitkä oheisista kuvioista A–D esittävät alkuainetta, puhdasta ainetta, yhdistettä tai seosta?

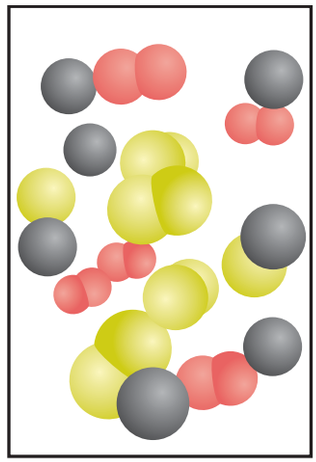
S-07 tehtävä 1



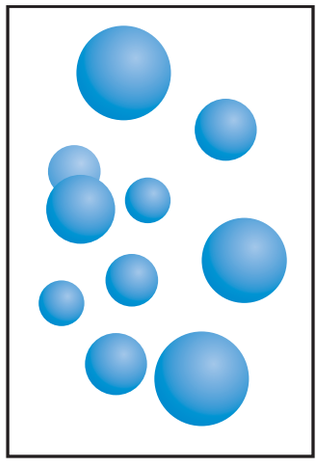
A



B



C



D

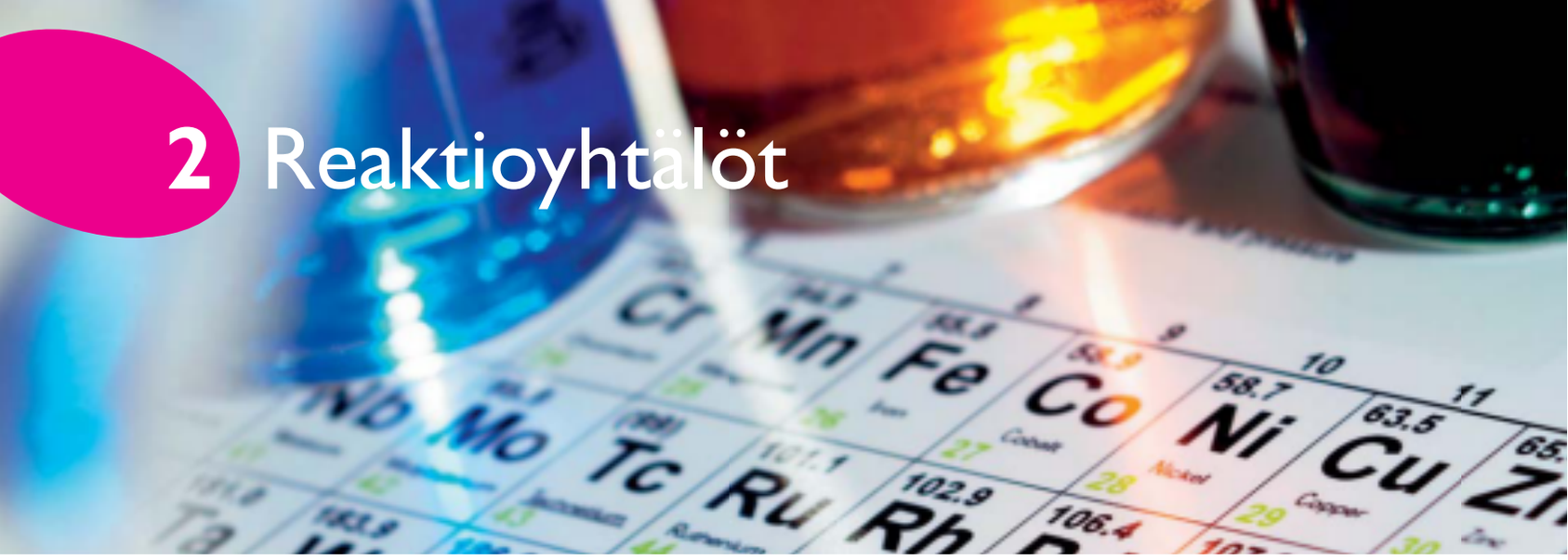
OSA 2

JAKSO 2

Reaktiot ja stoikiometria

2 Reaktioyhtälöt

3 Sähkökemia



2 Reaktioyhtälöt

Kemian ylioppilaskokeen tehtävistä noin kolmasosa on laskutehtäviä. Laskutehtävien tekemisessä apuvälineinä käytetään laskinta ja taulukkokirjaa, joiden käyttöä on harjoiteltava paljon. Hyvä laskurutiini syntyy vain laskemalla runsaasti erilaisia tehtäviä. Laskutehtävissä on kiinnitettävä huomiota välivaiheiden selkeään merkitsemiseen ja pyöristyksiin.

Kationeja ja anioneja

Epäorgaanisten yhdisteiden kauppanimiä ja koostumuksia

Aineen kaavan kirjoittaminen

Aineen kaavan kirjoittamisessa käytetään apuna jaksollista järjestelmää ja taulukkokirjoja.

- Ioniyhdisteissä ilmoitetaan ensin positiivinen ioni, poikkeuksena orgaanisten happojen suolat.
- Ioniyhdisteissä päätellään pääryhmiin kuuluvien alkuaineiden ionien varaukset alkuaineatomien ulkoelektronien määrästä, esim. Li^+, Mg^{2+}, S^{2-}, Br^-.
- Ioniyhdisteiden nimissä ei käytetä lukumäärää osoittavia etuliitteitä, jos yhdiste on yksikäsitteinen, esim. strontiumkloridi $SrCl_2$.
- Sivuryhmien metallien ioniyhdisteiden nimissä käytetään joko etuliitteitä ilmoittamaan ionien lukumäärät tai sulkuja kertomaan hapetusluvut, esim. rautatrikloridi $FeCl_3$ tai rauta(III)kloridi.
- Pienten molekyyliyhdisteiden nimissä käytetään etuliitteitä ilmoittamaan lukumäärät, esim. rikkidioksidi SO_2, dityppitetraoksidi N_2O_4.
- Molekyyliyhdisteessä atomit ovat kaavassa yleensä elektronegatiivisuuden mukaisessa järjestyksessä, poikkeuksena esimerkiksi NH_3.
- Halogeenit F_2, Cl_2, Br_2, I_2 sekä happi O_2, typpi N_2 ja vety H_2 esiintyvät kaksiatomisina molekyyleinä.

Alkuaineista huoneenlämpötilassa nesteitä ovat elohopea ja bromi, kaasuja jalokaasut ja typpi, happi, fluori, kloori ja vety.

Reaktioyhtälön kirjoittaminen

Reaktioyhtälö on lyhennetty esitys kemiallisesta reaktiosta. Reaktioyhtälö kertoo, mitkä ovat reaktion lähtöaineet ja mitkä tuotteet. Reaktioyhtälön kirjoittamisen pääperiaatteet:

- Rakenneosien määrä merkitään aineen kaavan eteen kertoimiksi.
- Kertoimet ovat pienimpiä mahdollisia kokonaislukuja.
- Atomien määrän on oltava sama molemmilla puolilla yhtälöä.
- Sähkövarausten summan on oltava sama molemmilla puolilla reaktioyhtälöä.
- Hapettuminen ja pelkistyminen ovat tasapainossa. Elektroneja ei synny eikä häviä.
- Olomuoto merkitään sulkeisiin aineen kaavan perään.
- Mahdolliset reaktioon vaikuttavat tekijät, esimerkiksi katalyytti, valo tai lämpö, kirjoitetaan reaktionuolen yläpuolelle.
- Energianmuutos voidaan merkitä reaktioyhtälön perään:
  - eksoterminen reaktio $\Delta H < 0$
  - endoterminen reaktio $\Delta H > 0$.

ESIMERKKI

Reaktioyhtälön kirjoittaminen

Kirjoita reaktioyhtälö etanolin palamiselle. Reaktiossa syntyy hiilidioksidia ja vettä.

Ratkaisu

Palaminen on reaktio hapen O_2 kanssa. Etanolissa C_2H_5OH on kaksi hiiliatomia, joten hiilidioksidimolekyylejä CO_2 syntyy kaksi. Etanolissa on kuusi vetyatomia, joten vesimolekyylejä H_2O syntyy kolme. Happimolekyylejä tarvitaan kolme, jotta hapen määrä on tasapainossa.

Reaktioyhtälö:

$C_2H_5OH(aq) + 3\ O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g) + 3\ H_2O(l)$

Hapettumisessa aine luovuttaa elektroneja ja samaan aikaan pelkistyvä aine vastaanottaa nämä elektronit.

ESIMERKKI

Reaktioyhtälön kirjoittaminen

Kirjoita reaktioyhtälöt seuraaville tapahtumille:

a) Litium palaa.

b) Metaani palaa täydellisesti.

c) Rauta(III)-ioni pelkistyy rauta(II)-ioniksi tina(II)-ionin hapettuessa tina (IV)-ioniksi.

Ratkaisu

a) Litium on metalli ja huoneenlämpötilassa kiinteä aine. Palamisessa syntyy oksidia. Litium on ensimmäisen ryhmän alkuaine ja muodostaa ioniyhdisteen hapen kanssa, joka on epämetallinen, kuudenteentoista ryhmään kuuluva alkuaine. Litiumionin varaus on +I ja hapesta muodostuvan oksidi-ionin varaus –2. Litiumoksidin kaava on siis Li_2O, ja ioniyhdisteenä se on huoneenlämpötilassa kiinteä aine. Happi koostuu kaksiatomisista molekyyleistä ja on huoneenlämpötilassa kaasu. Koska happimolekyylissä on kaksi happea ja litiumoksidissa vain yksi happi, litiumoksideja syntyy kaksi. Tällöin tarvitaan neljä litiumatomia reaktion lähtöaineena.
Reaktioyhtälö:
$4\ Li(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ Li_2O(s)$

b) Metaani on pienimolekyylinen, pooliton yhdiste, joten se on huoneenlämpötilassa kaasu. Hiilivetyjen palaessa täydellisesti syntyy hiilidioksidia ja vettä. Metaanin neljästä vetyatomista syntyy kaksi vesimolekyyliä, ja lähtöaineisiin tarvitaan kaksi happimolekyyliä, jotta syntyy yksi hiilidioksidimolekyyli ja kaksi vesimolekyyliä.
Reaktioyhtälö:
$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(g)$

c) Reaktioyhtälö on atomien suhteen tasapainossa, kun merkitään:
$Fe^{3+} + Sn^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Sn^{4+}$
Sähkötasapaino ei ole kunnossa, koska lähtöaineiden puolella on varaus +5 ja reaktiotuotteiden puolella varaus +6.
Reaktiossa rauta pelkistyy: +III → +II, muutos –I
ja tina hapettuu: +II → +IV, muutos +2.
Yhtä hapettuvaa tina-atomia kohden tarvitaan siis kaksi rauta-atomia ja reaktioyhtälössä olevien rauta-atomien kertoimiksi 2.
Reaktioyhtälö:
$2\ Fe^{3+} + Sn^{2+} \rightarrow 2\ Fe^{2+} + Sn^{4+}$

ESIMERKKI

Reaktioyhtälön kirjoittaminen perusteluineen kokeellisten havaintojen pohjalta

Kirjoita reaktioyhtälöt seuraaville tapahtumille:

a) Kun pieni litiumpala lisätään veteen, havaitaan kuplien muodostumista. Kun liuokseen lisätään fenoliftaleiinia, liuos värjäytyy vaaleanpunaiseksi.

b) Kun suodatettuun, kirkkaaseen kylläiseen kalkkiveteen puhalletaan pillillä, liuos samenee.

c) Kun ammoniumnitraattia lisätään veteen, muodostuu kirkas liuos ja reaktioastia kylmenee.

d) Kuparipala tiputetaan väkevään typpihappoliuokseen ja havaitaan ruskean kaasun muodostuminen ja liuoksen muuttuminen vihertäväksi.

e) Kun titrataan hapetus-pelkistystitrauksessa rauta(II)-ioneja sisältävää hapanta liuosta voimakkaan violetilla kaliumpermanganaattiliuoksella, väri häviää, kunnes ekvivalenttikohta on saavutettu.

Ratkaisu

a) Kuplien muodostuminen kertoo, että reaktiossa syntyy kaasua. Syntyvä kaasu on vetyä, jota syntyy epäjalon litiumin reagoidessa veden kanssa. Fenoliftaleiini on indikaattori, jonka väri emäksisessä liuoksessa on vaaleanpunainen. Emäksisessä liuoksessa on hydroksidi-ioneja enemmän kuin oksoniumioneja.
Reaktioyhtälö:
$2\ Li(s) + 2\ H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + 2\ LiOH(aq)$

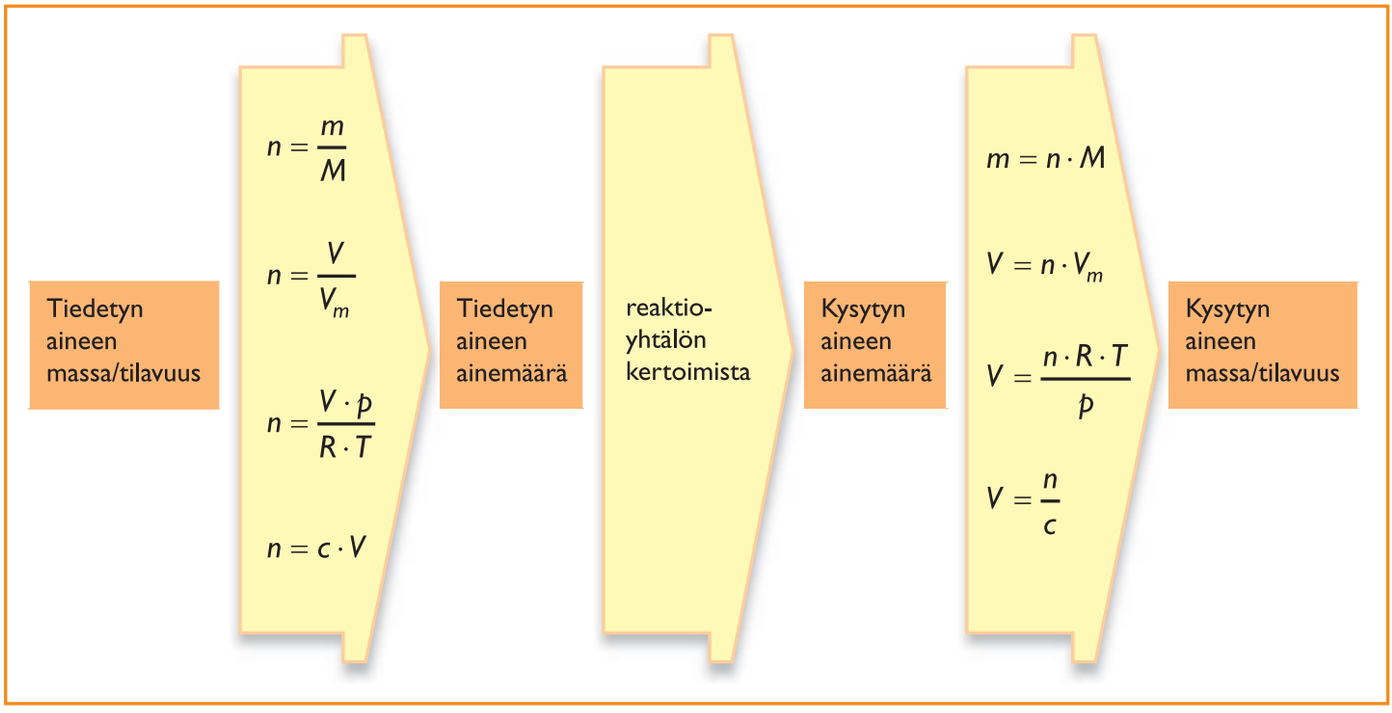
b) Liuoksen sameneminen johtuu niukkaliukoisen suolan muodostumisesta. Hengitysilmassa on hiilidioksidia, joka reagoi kalkkiveden eli kalsiumhydroksidin vesiliuoksen kanssa ja muodostaa niukkaliukoista kalsiumkarbonaattia.
Reaktioyhtälö:
$CO_2(g) + Ca(OH)_2(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$

c) Kirkas liuos tarkoittaa sitä, että ammoniumnitraatti liukeni veteen.
Astian kylmeneminen tarkoittaa sitä, että liukeneminen on endoterminen tapahtuma.
Reaktioyhtälö:
$NH_4NO_3(s) \xrightarrow{H_2O(l)} NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq),\ \Delta H > 0$

d) Kupari on jalo metalli, joka reagoi hapettavan hapon kanssa ja muodostaa epämetallioksideja. Typpihappo on hapettava happo, koska typpihapossa typpi on korkealla hapetusluvulla (+V) ja pyrkii pelkistymään. Syntyvä ruskea kaasu on myrkyllistä typpidioksidia. Reaktiossa syntyvä kuparinitraatti liukenee hyvin veteen ja liuos muuttuu vihertäväksi.
Reaktioyhtälö:
$Cu(s) + 4\ HNO_3(aq) \rightarrow 2\ NO_2(g) + 2\ H_2O(l) + Cu(NO_3)_2(aq)$

e) Titrauksessa tapahtuu raudan hapettuminen: +II → +III, muutos +1
ja mangaanin pelkistyminen: +VII → +II, muutos –5.
Jokaista mangaani-ionia kohden tarvitaan siis viisi rautaionia. Reaktio tapahtuu happamassa ympäristössä, joten reaktion lähtöaineiden puolelle lisätään vetyioneja ja tuotteiden puolelle vettä. Vety ja happi tasapainotetaan erikseen, koska ne eivät osallistu hapetus-pelkistysreaktioon. Kaliumionit eivät osallistu reaktioon, joten ne voidaan jättää kirjoittamatta reaktioyhtälöön. Reaktioyhtälö:
$5\ Fe^{2+}(aq) + MnO_4^-(aq) + 8\ H^+(aq) \rightarrow 5\ Fe^{3+}(aq) + Mn^{2+}(aq) + 4\ H_2O(l)$

Reaktioyhtälön käyttö laskuissa



Laskukaavoja

ESIMERKKI

Peruslasku: tiedetty aine ja kysytty aine

Kuinka paljon hiiltä tarvitaan pelkistettäessä 1,00 kg bariumsulfaattia bariumsulfidiksi?

Ratkaisu

Bariumin pelkistyessä hiili hapettuu ja muodostuu hiilidioksidia.
Laaditaan reaktioyhtälö ja tasapainotetaan se.
Reaktioyhtälö: $BaSO_4(s) + 2\ C(s) \rightarrow BaS(s) + 2\ CO_2(g)$
Tiedetyn aineen massa muutetaan ainemääräksi:

$$n(BaSO_4) = \frac{m}{M} = \frac{1000\ g}{(137,33 + 32,07 + 4 \cdot 16,00)\ \frac{g}{mol}} = 4,28449\ mol$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella kysytyn aineen eli hiilen ainemäärän suhde tiedetyn aineen eli bariumsulfaatin ainemäärään on 2 : 1

$$\frac{n(C)}{n(BaSO_4)} = \frac{2}{1}$$

$$n(C) = 2 \cdot n(BaSO_4) = 2 \cdot 4,28449 = 8,56898\ mol$$

Hiilen ainemäärästä lasketaan hiilen massa:

$$m(C) = n(C) \cdot M(C) = 8,56898\ mol \cdot 12,01\ \frac{g}{mol} = 102,913\ g \approx 103\ g$$

Vastaus: Hiiltä tarvitaan 103 grammaa.

ESIMERKKI

Suhdekaavan laskeminen

Erästä yhdistettä analysoitaessa sen todettiin sisältävän 31,9 massaprosenttia kaliumia, 28,9 massaprosenttia klooria ja loput happea. Mikä on yhdisteen suhdekaava?

Ratkaisu

Jotta suhdekaava voidaan selvittää, muutetaan annetut massat ainemääriksi ja lasketaan ainemäärien suhteet.

Oletetaan, että yhdistettä on 100 g, jolloin

$m(\mathrm{K}) = 31{,}9\ \mathrm{g}$

$m(\mathrm{Cl}) = 28{,}9\ \mathrm{g}$

$m(\mathrm{O}) = 100\ \mathrm{g} - 31{,}9\ \mathrm{g} - 28{,}9\ \mathrm{g} = 39{,}2\ \mathrm{g}.$

$$n(\mathrm{K}) = \frac{m(\mathrm{K})}{M(\mathrm{K})} = \frac{31{,}9\ \mathrm{g}}{39{,}1\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}815857\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{Cl}) = \frac{m(\mathrm{Cl})}{M(\mathrm{Cl})} = \frac{28{,}9\ \mathrm{g}}{35{,}45\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}815233\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{O}) = \frac{m(\mathrm{O})}{M(\mathrm{O})} = \frac{39{,}2\ \mathrm{g}}{16{,}00\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 2{,}45000\ \mathrm{mol}$$

Ainemäärien suhteita laskettaessa kaikki ainemäärät jaetaan lukuarvoltaan pienimmällä ainemäärällä eli kloorin ainemäärällä:

$n(\mathrm{K}) : n(\mathrm{Cl}) : n(\mathrm{O}) = 1{,}001 : 1 : 3{,}005 \approx 1 : 1 : 3$

Vastaus: Yhdisteen suhdekaava on $(KClO_3)_x$.

Vakioita

ESIMERKKI

Puhtausprosentin laskeminen

Kemisti määritti magnesiumkarbonaatin puhtauden siten, että hän mittasi, kuinka paljon 4,20 g epäpuhdasta magnesiumkarbonaattia tuotti hiilidioksidia reagoidessaan ylimäärän suolahapon kanssa. Hiilidioksidin määräksi hän mittasi 1,08 l, kun paine oli 1,01 bar ja lämpötila 25,0 °C. Laske magnesiumkarbonaatin puhtausprosentti.

Ratkaisu

Lasketaan, kuinka paljon magnesiumkarbonaattia tarvitaan tuottamaan kyseinen määrä hiilidioksidia annetuissa olosuhteissa.

Reaktioyhtälö:

$MgCO_3(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$

Reaktioyhtälön mukaan $n(CO_2) = n(MgCO_3)$, koska reaktioyhtälön kertoimet ovat samat.

Valitse oikea R yksiköiden mukaan.

$$n(CO_2) = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1{,}01\,\text{bar} \cdot 1{,}08\,\text{dm}^3}{0{,}0831451\,\frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298{,}15\,\text{K}} = 0{,}0440021\,\text{mol}$$

$$m(MgCO_3) = n \cdot M$$

$$= 0{,}0440021\,\text{mol} \cdot (24{,}31 + 12{,}01 + 3 \cdot 16{,}00)\,\frac{\text{g}}{\text{mol}} = 3{,}71026\,\text{g}$$

$$\frac{m(MgCO_3)}{m(\text{seos})} \cdot 100\,\% = \frac{3{,}71026\,\text{g}}{4{,}20\,\text{g}} \cdot 100\,\% = 88{,}3395\,\% \approx 88{,}3\,\%$$

Vastaus: Puhtausprosentti on 88,3 %.

Magnesiumkarbonaatti suolahapossa.

ESIMERKKI

Rajoittava reagenssi

Kuinka paljon vanadiini(III)kloridia syntyy keitettäessä 1,2 kg divanadiinipentaoksidia 1,2 kg dirikkidikloridin kanssa?
Reaktioyhtälö on $2\,V_2O_5 + 6\,S_2Cl_2 \rightarrow 4\,VCl_3 + 5\,SO_2 + 7\,S$.

Ratkaisu

Tutkitaan, kumpi lähtöaineista on reaktiota rajoittava tekijä.

$$n(V_2O_5) = \frac{m}{M} = \frac{1200\ \text{g}}{(2 \cdot 50,94 + 5 \cdot 16,00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 6,5978\ \text{mol}$$

$$n(S_2Cl_2) = \frac{1200\ \text{g}}{(2 \cdot 32,07 + 2 \cdot 35,45)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 8,8863\ \text{mol}$$

Reaktioyhtälön mukaan pitäisi olla
$n(S_2Cl_2) = 3 \cdot n(V_2O_5) \approx 19,793$ mol, joten dirikkidikloridi on rajoittava reagenssi.
Lasketaan vanadiini(III)kloridin ainemäärä dirikkidikloridin ainemäärän avulla:

$$\frac{n(VCl_3)}{n(S_2Cl_2)} = \frac{4}{6}$$

$$n(VCl_3) = \frac{4}{6} \cdot n(S_2Cl_2) = \frac{2}{3} \cdot n(S_2Cl_2)$$

$$m(VCl_3) = n \cdot M = \frac{2}{3} \cdot 8,8863\ \text{mol} \cdot (50,94 + 3 \cdot 35,45)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 931,82\ \text{g} \approx 0,93\ \text{kg}$$

Vastaus: Vanadiini(III)kloridia syntyy 0,93 kg.

ESIMERKKI

Peräkkäiset reaktiot eli reaktiosarja

1900-luvulla kehitettyä ns. Ostwaldin menetelmää käytetään edelleen typpihapon valmistuksessa. Menetelmä alkaa ammoniakin katalyyttisellä poltolla typpimonoksidiksi. Toisessa vaiheessa typpimonoksidi muutetaan typpidioksidiksi ja kolmannessa vaiheessa typpidioksidi imeytetään veteen, jolloin muodostuu typpihappoa. Alla on tasapainottamattomat reaktioyhtälöt, joilla menetelmää voidaan yksinkertaistettuna kuvata:

$NH_3 + O_2 \rightarrow NO + H_2O$

$NO + O_2 \rightarrow NO_2$

$NO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow HNO_3$.

a) Tasapainota reaktioyhtälöt.

b) Laske, kuinka monta grammaa happea kuluu valmistettaessa 2,0 kg typpihappoa.

Ratkaisu

a) $4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow 4\ NO + 6\ H_2O$

$2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$

$4\ NO_2 + O_2 + 2\ H_2O \rightarrow 4\ HNO_3$

b) Peräkkäisille reaktioille voidaan muodostaa kokonaisreaktio. Tällöin tasapainotetaan yhtä aikaa reaktioyhtälöt siten, että jokaisen sekä yhden reaktion tuotteena että toisen reaktion lähtöaineena toimivan aineen kertoimet ovat samat. Typpimonoksidin kerroin ensimmäisessä reaktiossa on neljä ja keskimmäisessä reaktiossa kaksi, joten keskimmäisen reaktion kertoimet kerrotaan kahdella. Tämän jälkeen typpidioksidin kerroin on neljä sekä keskimmäisessä että viimeisessä reaktiossa:

$4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow \cancel{4\ NO} + \overset{4}{\cancel{6}}\ H_2O$

$\cancel{4\ NO} + 2\ O_2 \rightarrow \cancel{4\ NO_2}$

$\cancel{4\ NO_2} + O_2 + \cancel{2\ H_2O} \rightarrow 4\ HNO_3$

$4\ NH_3 + 8\ O_2 \rightarrow 4\ H_2O + 4\ HNO_3$

Kokonaisreaktion mukaan

$$\frac{n(O_2)}{n(HNO_3)} = \frac{8}{4}$$

$$n(O_2) = 2 \cdot n(HNO_3)$$

$$m(O_2) = n \cdot M = 2 \cdot n(HNO_3) \cdot M(O_2)$$

$$= 2 \cdot \frac{m(HNO_3)}{M(HNO_3)} \cdot M(O_2)$$

$$= 2 \cdot \frac{2000\ \text{g}}{(1{,}008 + 14{,}01 + 3 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 2 \cdot 16{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2031{,}2\ \text{g} \approx 2{,}0\ \text{kg}$$

Vastaus: Happea kuluu 2,0 kg.

NTP-oloissa
p = 1,01325 bar
t = 0 °C

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) on vuonna 1982 suositellut, että normaalipaineelle käytettäisiin arvoa 100 kPa = 1 bar, mutta lukiolaisten taulukkokirjoissa käytetään vielä aikaisemman suosituksen mukaista paineen arvoa 101,325 kPa = 1,01325 bar.

Monimutkaisia laskuja voi selventää jättämällä yksiköt pois. Ole kuitenkin tarkkana, että lasket yhteen vain lukuja, joilla on samat yksiköt.

ESIMERKKI

Lähtöaineena seos

Sinkkiä ja magnesiumia sisältävään seokseen lisättiin ylimäärin 4,0 M suolahappoa ja määritettiin syntyneen vedyn määrä (NTP). Metalliseoksen massa oli 1,2 g ja vetyä syntyi 0,70 dm^3. Mikä oli metalliseoksen prosentuaalinen koostumus?

Ratkaisu

Molemmille seoksen aineille on kirjoitettava omat reaktioyhtälöt.

$Zn(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$ reaktio 1

$Mg(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$ reaktio 2

Annetun massan ja kaasun tilavuuden avulla tehdään yhtälöpari

$$\begin{cases} m(Zn) + m(Mg) = 1{,}2\ g \\ V(H_2)_1 + V(H_2)_2 = 0{,}70\ dm^3 \end{cases}$$

ja merkitään sinkin reaktioon liittyviä ainemääriä alaindeksillä 1 ja magnesiumin reaktioon liittyviä alaindeksillä 2. Yksiköt jätetään pois yhtälöparin ratkaisussa, mikä helpottaa laskemista. Yhtälöparin alemmassa yhtälössä käytetään kaavaa $n \cdot V_m = V$, koska kyseessä oli NTP-olosuhteet.

$$\begin{cases} n_1 M(Zn) + n_2 M(Mg) = 1{,}2 \\ n_1 V_m + n_2 V_m = 0{,}70 \end{cases}$$

Ratkaistaan ylemmästä yhtälöstä n_2 ja sijoitetaan se alempaan ja ratkaistaan n_1.

$$n_2 = \frac{1{,}2 - n_1 \cdot M(Zn)}{M(Mg)}$$

$$n_1 \cdot V_m + \frac{1{,}2 - n_1 \cdot M(Zn)}{M(Mg)} \cdot V_m = 0{,}70$$

$$n_1 \cdot V_m \cdot M(Mg) + 1{,}2 \cdot V_m - n_1 \cdot M(Zn) \cdot V_m = 0{,}70 \cdot M(Mg)$$

$$n_1 = \frac{0{,}70 \cdot M(Mg) - 1{,}2 \cdot V_m}{V_m \cdot M(Mg) - M(Zn) \cdot V_m} = \frac{0{,}70 \cdot 24{,}31 - 1{,}2 \cdot 22{,}41}{22{,}41 \cdot 24{,}31 - 65{,}38 \cdot 22{,}41} = 0{,}010729\ mol$$

Siis $n(Zn)$ = 0,010729 mol. Sinkin massa

$$m(Zn) = n(Zn) \cdot M(Zn) = 0{,}010729\ mol \cdot 65{,}38\ \frac{g}{mol} = 0{,}70146\ g$$

$$m\text{-}\%(Zn) = \frac{0{,}70146\ g}{1{,}2\ g} = 0{,}58455 \approx 58\ \%$$

Vastaus: Seoksessa oli 58 m-% sinkkiä ja 42 m-% magnesiumia.

Ulkoa muistettavia reaktioita

Reaktio	Tapahtuma	Esimerkkireaktio
Karbonaatti hajoaa kuumennettaessa	Syntyy hiilidioksidia ja oksidia.	$CoCO_3(s) \rightarrow CO_2(g) + CoO(s)$
Vetykarbonaatti hajoaa kuumennettaessa	Syntyy karbonaattia, hiilidioksidia ja vettä.	$2\ NaHCO_3(s) \rightarrow Na_2CO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(l)$
Karbonaatti reagoi hapon kanssa	Syntyy hiilidioksidia, vettä ja hapon suolaa.	$CaCO_3(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$
Jalo metalli reagoi happihapon kanssa	Syntyy epämetalli-oksideja.	$Cu(s) + 4\ HNO_3(aq) \rightarrow 2\ NO_2(g) + 2\ H_2O(l) + Cu(NO_3)_2(aq)$ Huom! Typen hapetusaste riippuu metallista ja typpihappo-liuoksen väkevyydestä.
Halogeenien hapetuskyky pienenee ryhmässä alaspäin mentäessä	Vahvempi hapetin hapettaa toisen halogeenin ionin.	$2\ NaBr(aq) + Cl_2(g) \rightarrow 2\ NaCl(aq) + Br_2(l)$ $NaCl(aq) + Br_2(l) \rightarrow$ ei reaktiota
Yhteyttäminen eli fotosynteesi	Kasvisolut tuottavat auringon säteilyenergian avulla hiilidioksidista ja vedestä happea ja glukoosia.	$6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(l) \xrightarrow{\text{valoenergiaa}} 6\ O_2(g) + C_6H_{12}O_6(s)$ Huom! Kyseessä on yksinkertaistettu reaktioyhtälö, yhteyttäminen sisältää useita kymmeniä reaktioita.
Oksidien reaktioita	Epämetallioksidit muodostavat veden kanssa yleensä happaman liuoksen, metallioksidit emäksisen. Alumiinioksidi on amfoteerinen oksidi.	$SO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_3(aq)$ $MnO(s) + H_2O(l) \rightarrow Mn(OH)_2(aq)$ $Mn_2O_7(s) + H_2O(l) \rightarrow 2\ HMnO_4(aq)$ $Al_2O_3(s) + 6\ HCl(aq) \rightarrow 2\ AlCl_3(aq) + 3\ H_2O(l)$ $Al_2O_3(s) + 2\ NaOH(aq) + 3\ H_2O(l) \rightarrow 2\ Al(OH)_4^-(aq) + 2\ Na^+(aq)$

TEHTÄVIÄ

22. Tasapainota seuraavat reaktioyhtälöt. Mainitse kolme asiaa, jotka eivät käy ilmi reaktioyhtälöistä.

a) $Mn(NO_3)_2 \rightarrow MnO_2 + NO_2$
b) $Na_2CO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$
c) $V_2O_5 + S_2Cl_2 \rightarrow VCl_3 + SO_2 + S$
d) $C_{17}H_{19}NO_3 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + NO_2$
e) $Sn^{2+}(aq) + Cl^-(aq) + As^{3+}(aq) \rightarrow As(s) + SnCl_6^{2-}(aq)$
f) $C_nH_{2n+2} + O_2 \rightarrow$

23. Kirjoita reaktioyhtälöt seuraaville reaktioille:

a) kiinteä dityppipentaoksidi hajoaa typpidioksidi- ja happikaasuiksi
b) butaani palaa
c) natriumsulfidia valmistetaan pelkistämällä natriumsulfaattia hiilellä
d) magnesiumkarbonaatti hajoaa kuumennettaessa
e) litium reagoi rikkihapon kanssa
f) diarseenipentaoksidia valmistetaan poistamalla vettä arseenihaposta H_3AsO_4 (Huom! Kyseessä on tasapainoreaktio.)
g) kloorikaasua johdetaan natriumjodidiliuokseen
h) oksaalihappo neutraloidaan natriumhydroksidilla.

24. Määritä typen hapetusluvut seuraavissa yhdisteissä:

a) N_2
b) HNO_3
c) N_2O_3
d) NH_4NO_2
e) N_2O_4.

25. Kirjoita reaktioyhtälöt kalsiumin reaktioille:

a) $Ca + O_2 \rightarrow$ yhdiste A
b) yhdiste A + $H_2O \rightarrow$ yhdiste B
c) yhdiste B + $CO_2 \rightarrow$ yhdiste D
d) yhdiste D + $H_2O + CO_2 \rightarrow$ yhdiste E
e) yhdiste E + $HCl \rightarrow$ yhdiste F.

26. Kromiitista, $FeCr_2O_4$, voidaan valmistaa natriumkromaattia. Kromiittia pasutetaan kalkki- ja soodaseoksen kanssa:

$FeCr_2O_4 + Na_2CO_3 + CaO + O_2 \rightarrow Na_2CrO_4 + Fe_2O_3 + CaCO_3$.

a) Tasapainota reaktioyhtälö.
b) Kuinka paljon natriumkromaattia syntyy, kun 1100 kg kromiittia pasutetaan?

27. Kalsiumin määrä esimerkiksi verinäytteessä voidaan määrittää saostamalla ensin kalsiumionit oksalaattina. Kalsiumoksalaatti liuotetaan happoon ja syntynyt liuos titrataan kaliumpermanganaatilla:

$C_2O_4^{2-} + MnO_4^- + H^+ \rightarrow CO_2 + Mn^{2+} + H_2O$

a) Tasapainota titrauksen reaktioyhtälö.
b) Mikä aine hapettuu ja mikä pelkistyy titrauksen aikana?
c) Kuinka paljon tutkittava näyte sisälsi kalsiumia, jos titrauksessa kului 13,2 ml permanganaattiliuosta, jonka konsentraatio oli 0,15 M?

28. Nestekaasussa on 98 % propaania ja 2 % butaania. Kuinka paljon happea (NTP) tarvitaan, kun 12 litraa nestekaasua palaa?

29. Diesel- ja polttoöljyjen rikkipitoisuutta valvotaan Suomessa. Valtioneuvoston asetuksen mukaan raskaan polttoöljyn rikkipitoisuus saa olla enintään 1,00 massaprosenttia.
Öljyn rikkipitoisuus voidaan määrittää saostamalla näytteen rikki bariumsulfaattina.
Eräästä 5,24 g:n öljynäytteestä saatiin saostettua 0,33 g bariumsulfaattia.

a) Oliko öljy rikkipitoisuudeltaan asetuksen mukaista?
b) Jos sata kilogrammaa kyseistä raskasta polttoöljyä poltettaisiin, kuinka paljon rikkitrioksidia muodostuisi?
c) Kuinka paljon natriumhydroksidia tarvittaisiin b-kohdan rikkitrioksidista muodostuneen rikkihapon neutraloimiseen?

30. Litium- ja kaliumnitraatin seosta kuumennettiin ja seos räjähti. Reaktiossa nitraatti-ionit pelkistyivät nitriitti-ioneiksi. Kuinka paljon 100,0 gramman seos sisälsi litiumnitraattia, kun räjähdyksessä vapautui 19,5 grammaa happea?

YLIOPPILAS- JA PÄÄSYKOETEHTÄVIÄ

31. Titaani on luja, kevyt ja korroosiota kestävä metalli, jota käytetään mm. lentokoneissa, polkupyörien rungoissa ja raketeissa. Sitä valmistetaan titaani(IV)kloridin ja sulan magnesiumin välisessä reaktiossa lämpötilassa 950–1150 °C.

$TiCl_4(g) + 2\ Mg(l) \rightarrow Ti(s) + 2\ MgCl_2(g)$

Eräässä teollisuusprosessissa lähtöaineina käytettiin 35,4 kg $TiCl_4$ ja 8,3 kg magnesiumia. Kuinka monta kilogrammaa titaania voidaan saada?

K-06 tehtävä 2

32. Puutarhan kalkitukseen voidaan käyttää dolomiittikalkkia, joka on kalsiumkarbonaatin ja magnesiumkarbonaatin seos. Kuumennuksessa kumpikin karbonaatti hajoaa vastaavaksi oksidiksi.

a) Laadi reaktioyhtälöt.
b) Kun 0,876 g dolomiittikalkkia kuumennettiin, saatiin jäännös, jonka massa oli 0,477 g. Kuinka monta massaprosenttia magnesiumkarbonaattia dolomiittikalkki sisälsi?

K-03 tehtävä 3

33. Teräksen mangaanipitoisuus määritetään spektrofotometrisesti. Määritystä varten teräsnäyte liuotetaan typpihappoon, jolloin mangaani hapettuu Mn^{2+}-ioneiksi. Kun liuokseen lisätään kiinteää kaliumperjodaattia (KIO_4), Mn^{2+}-ionit hapettuvat värillisiksi permanganaatti-ioneiksi seuraavan tasapainottamattoman hapettumis-pelkistymisreaktion mukaisesti:

$$Mn^{2+} + IO_4^- + H_2O \rightarrow MnO_4^- + H^+ + IO_3^-$$

a) Tasapainota reaktioyhtälö.
b) Spektrofotometrinen määritys tehtiin niin kutsuttua vertailusuoramenetelmää käyttäen. Vertailu- eli standardiliuokset valmistettiin kantaliuoksesta A, joka sisälsi 5,00 mg/ml mangaanisuolaa, $Mn(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O$. Mikä on kantaliuoksen A konsentraatio (mol/dm^3)?
c) Määrityksen mukaan 0,203 gramman teräsnäyte sisälsi yhtä paljon mangaania kuin 2,21 ml kantaliuosta A. Kuinka monta massa-% mangaania teräksessä on?
d) Kuinka monta grammaa kiinteää kaliumperjodaattia vähintään tarvitsee lisätä liuokseen, että kaikki teräsnäytteen Mn^{2+}-ionit hapettuvat permanganaatti-ioneiksi?

DI-yhteisvalinta 2012 / kemian koe tehtävä 4

34. Alkoholijuoma sisältää vain etanolia ja vettä. Seosta analysoitaessa etanoli hapetetaan hiilidioksidiksi reaktion

$$C_2H_5OH(l) + 3\ O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g) + 3\ H_2O(g)$$

mukaisesti. Samalla juomassa oleva vesi höyrystyy ja se kerätään yhdessä reaktiossa muodostuneen veden kanssa. Mikä oli juoman alkoholipitoisuus massaprosentteina, kun siitä otetusta 10,00 gramman näytteestä saatiin 10,77 g vettä?

K-06 tehtävä 4

35. Autojen turvavarusteena käytettävien ilmatyynyjen toiminta perustuu reaktioon, jossa kiinteä natriumatsidi (NaN_3) törmäyksen sattuessa hajoaa räjähtäen metalliseksi natriumiksi ja typpikaasuksi. Kirjoita reaktion yhtälö. Kuinka monta grammaa natriumatsidia tarvitaan, jotta 35 litran tyynyyn syntyy paine 1,4 bar (= 140 kPa) lämpötilassa 25 °C? Reaktion synnyttämässä kuumuudessa sulan metallina vapautuneen natriumin annetaan reagoida kiinteän rauta(III)oksidin kanssa, jolloin tuotteina saadaan kiinteää natriumoksidia ja metallista rautaa. Kirjoita myös tämän reaktion yhtälö.

K-98 tehtävä 3

36. Kuparin valmistuksen suurin ympäristöongelma on prosessissa syntyvä rikkidioksidi. Suomessa kehitetty ns. liekkisulatusmenetelmä on muita ympäristöystävällisempi tehokkaamman rikkidioksidin talteenoton ansiosta. Tässä menetelmässä käytetään raaka-aineena mm. kuparikiisua, $CuFeS_2$, joka muutetaan kuumentamalla kuparisulfidiksi, ja tämä hapetetaan osittain oksidiksi. Oksidi reagoi jäljellä olevan kuparisulfidin kanssa, jolloin muodostuu metallista kuparia:

$$CuFeS_2 \rightarrow Cu_2S + FeS + S$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

$$Cu_2S + O_2 \rightarrow Cu_2O + SO_2$$

$$Cu_2S + Cu_2O \rightarrow Cu + SO_2$$

Määritä reaktioyhtälöiden kertoimet ja laske niiden perusteella, kuinka monta dm^3 rikkidioksidia (NTP) syntyy, kun valmistetaan 1,0 kg kuparia.

K-93 tehtävä 3

3 Sähkökemia

Sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi perustuvat hapettumis- ja pelkistymisreaktioihin. Yksinkertaisessa kahden metallin ja elektrolyyttiliuoksen välisessä reaktiossa hapettuva ja pelkistyvä metalli voidaan päätellä metallien jännitesarjan avulla. Monimutkaisempi tehtävä ratkaistaan käyttämällä apuna normaalipotentiaalitaulukkoa, jonka käytön hallitseminen on tärkeää tehtävän ratkaisemisen kannalta.

Hapettuminen ja pelkistyminen

Hapettumis- ja pelkistymisreaktiot tapahtuvat aina samanaikaisesti. Jos jokin aine hapettuu, on toisen aineen pelkistyttävä.

Aineen hapettuessa
- sen elektronien määrä vähenee
- sen hapetusluku kasvaa
- se toimii pelkistimenä eli pelkistää toisen aineen
- orgaanisissa yhdisteissä vedyn määrä voi vähentyä tai hapen määrä lisääntyä.

Aineen pelkistyessä
- sen elektronien määrä kasvaa
- sen hapetusluku pienenee
- se toimii hapettimena eli hapettaa toisen aineen
- orgaanisissa yhdisteissä vedyn määrä voi lisääntyä tai hapen määrä voi vähentyä.

Sähkökemiallista paria kutsutaan myös galvaaniseksi kennoksi, galvaaniseksi pariksi, kemialliseksi pariksi ja sähkökemialliseksi kennoksi.

Sähkökemiallinen pari

Sähkökemiallinen pari perustuu spontaanisti eli itsestään tapahtuviin hapettumis- ja pelkistysreaktioihin. Sähköparissa kemiallista energiaa muunnetaan sähköenergiaksi.

Metallit voidaan laittaa järjestykseen hapettumispyrkimyksensä mukaan. Metallien jännitesarjassa metallit on järjestetty helpoimmin hapettuvasta helpoimmin pelkistyvään. Esimerkiksi sinkki voi toimia pelkistimenä raudalle. Tällöin sinkki hapettuu raudan sijaan ja suojaa rautaa korroosiolta. Metallien jännitesarjaan on otettu vertailun vuoksi mukaan vety, joka jakaa metallit jaloihin ja epäjaloihin. Epäjalot metallit reagoivat happojen kanssa ja vapauttavat vetykaasua. Jos esimerkiksi magnesiumpala tiputetaan suolahappoon, magnesium reagoi suolahapon kanssa ja luovuttaa vetyioneille elektroneja. Vetyionit pelkistyvät vetykaasuksi.

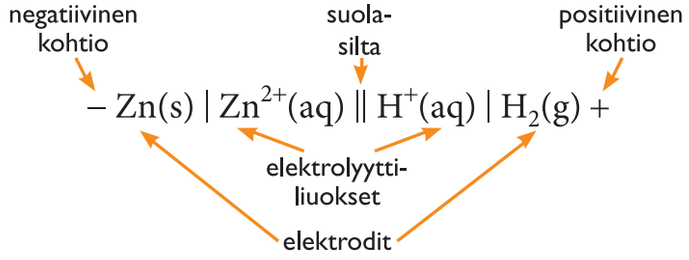
$$Mg(s) + 2\ H^+(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + H_2(g)$$

Li	K	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Cr	Fe	Co	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Hg	Ag	Au
Epäjalot metallit															**Jalot metallit**			

Normaalipotentiaali kertoo kahden elektrodin välisen jännite-eron. Kahden elektrodin välinen potentiaaliero voidaan määrittää ns. normaalivetyelektrodin avulla. Normaalivetyelektrodin potentiaali on sovittu nollaksi voltiksi (25 °C). Esimerkiksi kennossa, jossa toisena elektrodina on sinkki ja toisena normaalivetyelektrodi, sinkki hapettuu luovuttaen elektroneja ja vety pelkistyy muodostaen vetykaasua.

Kennokaaviossa vasemmalla on hapettumisreaktio ja oikealla pelkistymisreaktio. Merkintä || tarkoittaa huokoista väliseinää tai suolasiltaa.

Sinkin normaalipotentiaaliarvon mittaamiseen käytetyn kennon kennokaavio:



Jos toisena elektrodina on vetyä jalompi aine, esimerkiksi kupari, normaalivetyelektrodilla vetykaasu hapettuu vetyioneiksi ja kupari-ioni pelkistyy.

Kuparin normaalipotentiaalin mittaamiseen käytetyn kennon kennokaavio:

$$– H_2(g) \mid H^+(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s) +$$

$E° > 0$, reaktio tapahtuu spontaanisti.
$E° < 0$, reaktio ei tapahdu spontaanisti, käänteinen reaktio on todennäköisempi.

Normaalipotentiaaliarvot ilmoitetaan:
– 25 °C:n lämpötilassa
– 101 325 Pa:n paineessa
– 1 M:n liuospitoisuudessa.

Anodilla tapahtuu aina hapettuminen, katodilla pelkistyminen. Sähkökemiallisessa parissa positiivinen kohtio on siis katodi, negatiivinen kohtio anodi ja elektrolyysikennossa toisinpäin.

Kokonaisreaktion lähdejännite saadaan laskemalla yhteen hapettumis- ja pelkistymisreaktion normaalipotentiaalit
$E° = E°$ (hapettuminen) + $E°$ (pelkistyminen).

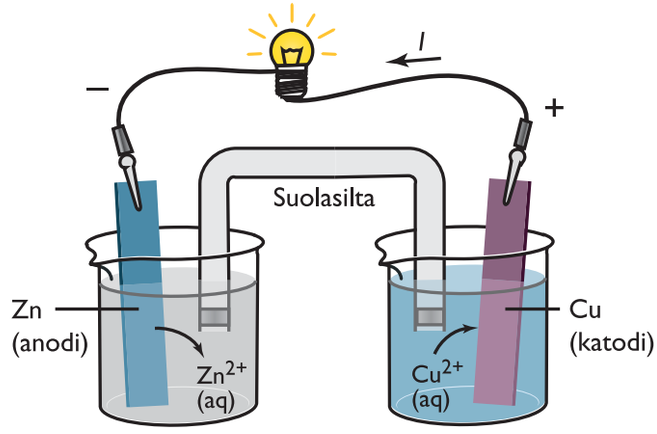
ESIMERKKI

Sähköpari

Kuvaile ja havainnollista piirroksen avulla Daniellin parin toimintaa. Kirjoita puolireaktiot, kokonaisreaktio ja laske lähdejännite.

Ratkaisu

Daniellin parissa sinkkisauva (eli sinkkielektrodi) on upotettu sinkki-ioneja sisältävään elektrolyyttiliuokseen ja kuparisauva (eli kuparielektrodi) on upotettu kupari-ioneja sisältävään elektrolyyttiliuokseen. Sinkkisauva ja kuparisauva on yhdistetty toisiinsa ulkoisen virtapiirin avulla. Galvaanisen kennon toimintaan vaadittava suljettu virtapiiri saadaan aikaan yhdistämällä elektrolyyttiliuokset suolasillan avulla. Kuparisauvalla saostuu kuparia katodin pinnalle ja sinkkisauvan massa pienenee. Suolasillan tehtävä on estää elektrolyyttiliuosten sekoittuminen mutta mahdollistaa ionien liikkuminen. Suolasilta tasaa sähkövarauksia.



Hapettuminen tapahtuu epäjalommalla sinkkielektrodilla (anodi) ja pelkistyminen jalommalla kuparielektrodilla (katodi):

$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$	$E° = +0{,}76\,V$
$Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cu(s)$	$E° = +0{,}34\,V$
$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+} + Cu(s)$	$E° = 0{,}76\,V + 0{,}34\,V = +1{,}1\,V$

Kennoreaktio voidaan esittää myös kennokaavion avulla:
$Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$

Normaali-
potentiaaleja

Normaalipotentiaalitaulukon tulkinta

- Normaalipotentiaalit on taulukoitu pelkistymispotentiaaleina.
- Hapettumisreaktion potentiaali saadaan vaihtamalla pelkistymispotentiaalin etumerkki.
- Epäjalojen metallien pelkistymispotentiaali on negatiivinen.
- Jalojen metallien pelkistymispotentiaali on positiivinen.
- Esimerkiksi tinan pelkistymisreaktion potentiaali on –0,14 V ja kuparin +0,34 V. Koska kuparin pelkistymispotentiaali on suurempi kuin tinan, se pelkistyy helpommin.

Reaktio	***E* (V) (25 °C)**
$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	–2,71
$Mg^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Mg$	–2,37
$Al^{3+} + 3\ e^- \rightarrow Al$	–1,66
$2\ H_2O + 2\ e^- \rightarrow H_2 + 2\ OH^-$	–0,83
$Zn^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Zn$	–0,76
$Fe^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Fe$	–0,45
$Co^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Co$	–0,28
$Ni^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Ni$	–0,26
$Sn^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Sn$	–0,14
$Pb^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Pb$	–0,13
$2H^+ + 2\ e^- \rightarrow H_2$	0,00
$Cu^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Cu$	0,34
$O_2 + 2\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^-$	0,40
$I_2 + 2\ e^- \rightarrow 2\ I^-$	0,54
$O_2 + 2\ H^+ + 2\ e^- \rightarrow H_2O_2$	0,70
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0,77

SPONTAANI REAKTIO

REAKTIO EI TAPAHDU SPONTAANISTI

Osa normaalipotentiaalitaulukkoa. Kahdesta aineesta pelkistyy se, jonka pelkistymispotentiaali on suurempi. Ylempänä taulukossa oleva aine voi siis hapettua, jos alempana oleva aine pelkistyy, mutta ei toisin päin.

ESIMERKKI

Sähkökemiallisen kennon lähdejännitteen määrittäminen

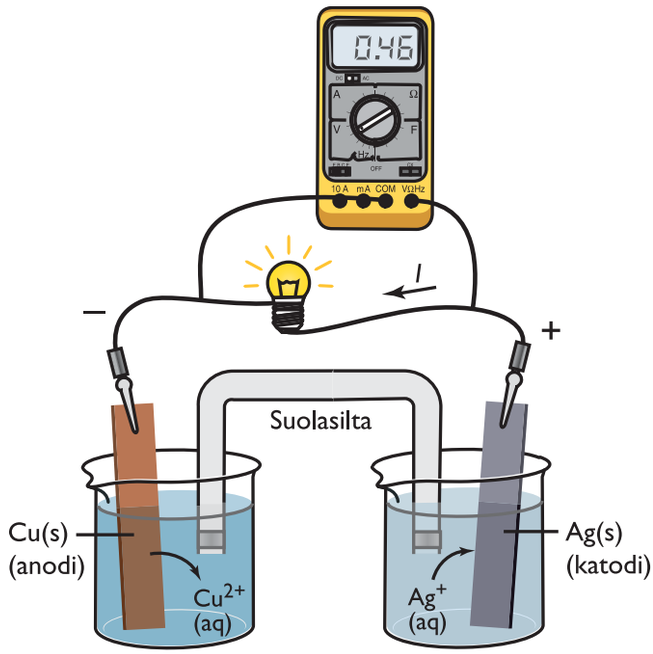
Sähkökemiallinen kenno rakennetaan upottamalla kuparisauva $Cu(NO_3)_2$-liuokseen ja hopeasauva $AgNO_3$-liuokseen. Sauvat yhdistetään toisiinsa ulkoisella virtapiirillä ja liuoksia erottaa toisistaan suolasilta.

a) Piirrä kuva kennosta.
b) Määritä kohtioilla tapahtuvat reaktiot ja tasapainota ne.
c) Määritä kennon kokonaisreaktio ja lähdejännite.

Sähkövirran *I* kulkusuunta on sopimuksen mukaan elektronien kulkusuunnalle vastakkainen eli +-navalta poispäin.

Ratkaisu

a)



Muista! Reaktioyhtälön tasapainottaminen ei vaikuta $E°$-arvoon.

b) Se metalli, jolla on korkeampi pelkistyspotentiaali, pelkistyy. Negatiivisella kohtiolla (anodi) tapahtuu kuparin hapettuminen, positiivisella kohtiolla (katodi) hopean pelkistyminen. Hopeaionit pelkistyvät liuoksesta, ja sen seurauksena hopeaelektrodin massa kasvaa. Kuparielektrodin massa pienenee, koska kupari-ioneja liukenee elektrolyyttiliuokseen.

Anodi: $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ e^-$ $\quad E° = -0{,}34\ V$

Katodi: $2\ Ag^+ + 2\ e^- \rightarrow 2\ Ag(s)$ $\quad E° = +0{,}80\ V$

c) Kokonaisreaktio

$2\ Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow 2\ Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$

Lähdejännite

$E° = -0{,}34\ V + 0{,}80\ V = +0{,}46\ V$

ESIMERKKI

Normaalipotentiaalien käyttö laskuissa

Osoita normaalipotentiaalien avulla, että litiumin reagoidessa veden kanssa syntyy vetykaasua.

Ratkaisu

Kirjoitetaan litiumin hapettumisreaktio ja reaktio, jossa vety pelkistyy vedestä.

$Li(s) \rightarrow Li^+(aq) + e^-$ $\quad E° = +3{,}04\,V$

$2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow 2\,OH^-(aq) + H_2(g)$ $\quad E° = -0{,}83\,V$

Potentiaalien summa $\quad E° = 3{,}04\,V - 0{,}83\,V = +2{,}21\,V$

Koska $E°$ on positiivinen, reaktio tapahtuu spontaanisti eli litiumin reagoidessa veden kanssa vapautuu vetykaasua.

Lyijyakku

Lyijyakussa on elektrodeina lyijylevyt ja elektrolyyttinä n. 37 % rikkihappo.

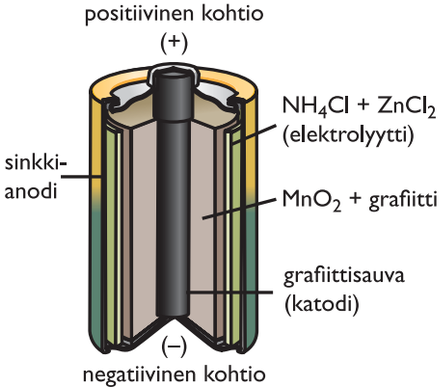
Elektrodeilla tapahtuvat reaktiot:

Anodi: $Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 2\,e^-$

Katodi: $PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 4\,H^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2\,H_2O(l)$

Kokonaisreaktio: $PbO_2(s) + Pb(s) + 2\,H_2SO_4(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 2\,H_2O(l)$ $\quad E° = 2{,}0\,V$

Akkuhappo (H_2SO_4) laimenee, kun akkua käytetään. Akun lataus voidaan tarkistaa tiheysmittarilla. Henkilöauton akussa on kuusi 2,0 V:n lyijyparia sarjassa.



Kuivapari

Kuivaparissa eli Lelanchén parissa on positiivisena kohtiona (katodi) grafiittisauva, jota ympäröi grafiitti- ja mangaanidioksiditahna. Negatiivisena kohtiona (anodi) on pariston sinkkikuori. Elektrolyyttiliuoksena toimii sinkkikloridin ja ammoniumkloridin tahna.

Elektrodeilla tapahtuvat reaktiot:

Anodi: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$

Katodi: $2\,MnO_4(s) + 2\,NH_4^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2\,NH_3(aq) + H_2O(l)$

Kuivaparista saadaan noin 1,5 voltin jännite. Kuivaparia tehokkaampi ja pitkäikäisempi paristo on alkaliparisto, jossa ammoniumkloridi on korvattu kaliumhydroksidilla.

ESIMERKKI

Kuparin reaktio laimean typpihapon kanssa

Selvitä normaalipotentiaalien avulla, miksi kupari liukenee laimeaan typpihappoon. Kirjoita ja tasapainota reaktioyhtälöt ja ilmoita, mikä hapettuu ja mikä pelkistyy.

Ratkaisu

Typpihapon hapetuskyky perustuu nitraatti-ioniin, NO_3^-. Etsitään normaalipotentiaalitaulukosta kuparin ja nitraatti-ionin reaktioyhtälöt. Koska nitraatti-ionin pelkistymispotentiaali on suurempi, nitraatin typpi pelkistyy ja kupari hapettuu.

$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ e^-$ $\quad E° = -0{,}34\,V$

$NO_3^-(aq) + 4\ H^+(aq) + 3\ e^- \rightarrow NO(g) + 2\ H_2O(l)$ $\quad E° = 0{,}96V$

Tasapainotetaan reaktioyhtälöt siirtyvien elektronien lukumäärän suhteen kertomalla kuparin hapetusreaktio kolmella ja nitraatti-ionin pelkistymisreaktio kahdella, kirjoitetaan kokonaisreaktio ja määritetään hapetusluvut.

$3\ Cu(s) \rightarrow 3\ Cu^{2+}(aq) + 6\ e^-$

$2\ NO_3^-(aq) + 8\ H^+(aq) + 6\ e^- \rightarrow 2\ NO(g) + 4\ H_2O(l)$

$\overset{0}{3\ Cu(s)} + \overset{+V\,-II}{2\ NO_3^-(aq)} + \overset{+I}{8\ H^+(aq)} \rightarrow \overset{+II}{3\ Cu^{2+}(aq)} + \overset{+II\,-II}{2\ NO(g)} + \overset{+I\,-II}{4\ H_2O(l)}$

Tutkitaan hapetuslukujen muutoksia:

	Lähtöaineissa	Tuotteissa	Muutos
Cu	0	+II	$-2\ e^-$
N	+V	+II	$+3\ e^-$
O	–II	–II	ei muutosta
H	+I	+I	ei muutosta

Hapetuslukujen perusteella voidaan päätellä, että kupari hapettuu ja nitraatti-ioni pelkistyy. Jos metallista kuparia laitetaan laimeaan typpihappoon, se liukenee vähitellen ja kehittää kaasumaista typpimonoksidia. Väkevässä typpihapossa nitraatti-ionista muodostuu typpidioksidia NO_2.

$NO_3^-(aq) + 2\ H^+(aq) + e^- \rightarrow NO_2(g) + H_2O(l)$

ESIMERKKI

Polttokenno

Selitä polttokennon toimintaperiaate. Havainnollista asiaa kuvalla. Pohdi polttokennon ympäristöystävällisyyttä.

Ratkaisu

Polttokenno on sähkökemiallisen kennon sovellus, jossa polttokenno tuottaa sähköenergiaa vety- ja happikaasuista. Yksinkertaisessa polttokennossa vetykaasua johdetaan anodille ja happikaasua katodille. Vetykaasu hajotetaan katalyytin (esim. Pt) avulla vetyioneiksi ja elektroneiksi. Vetyionit (H^+) kulkeutuvat katodille protoneja läpäisevän kalvon läpi. Elektronit kulkevat katodille sähköjohtoa pitkin. Katodilla happikaasu reagoi vetyionien ja elektronien kanssa tuottaen vettä.

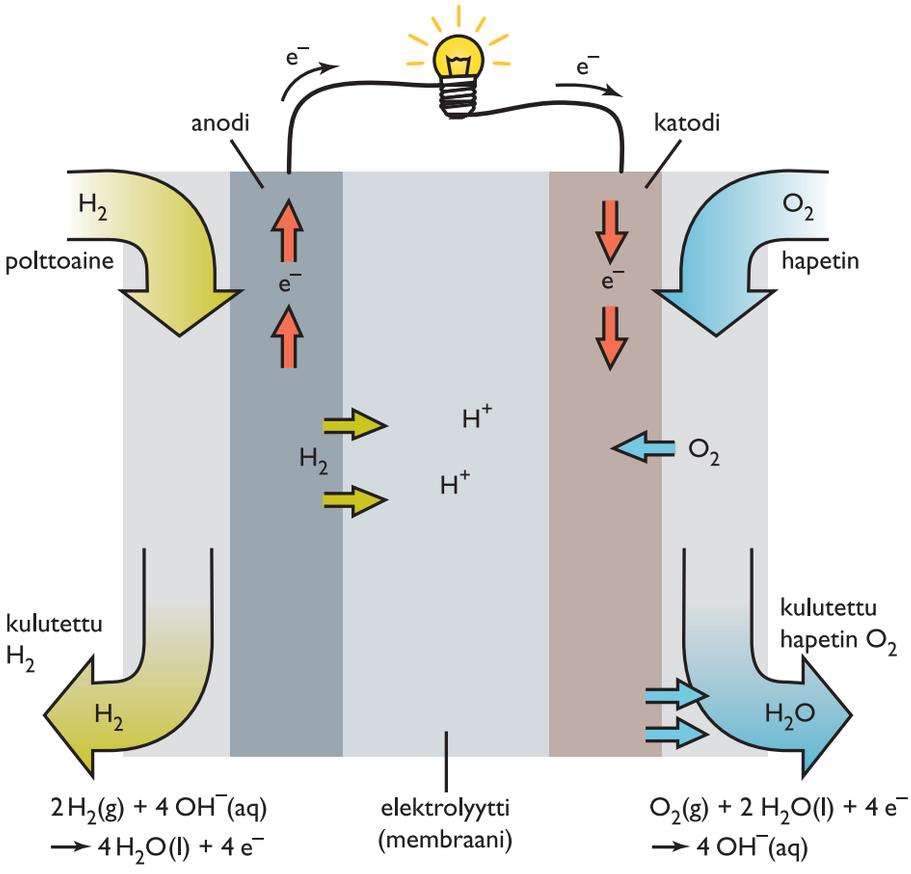
Puolireaktiot:

Anodi: $2\ H_2 \rightarrow 4\ H^+ + 4\ e^-$

Katodi: $O_2 + 4\ H^+ + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2O$ + lämpöenergiaa

Kokonaisreaktio:

$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$ + lämpöenergiaa

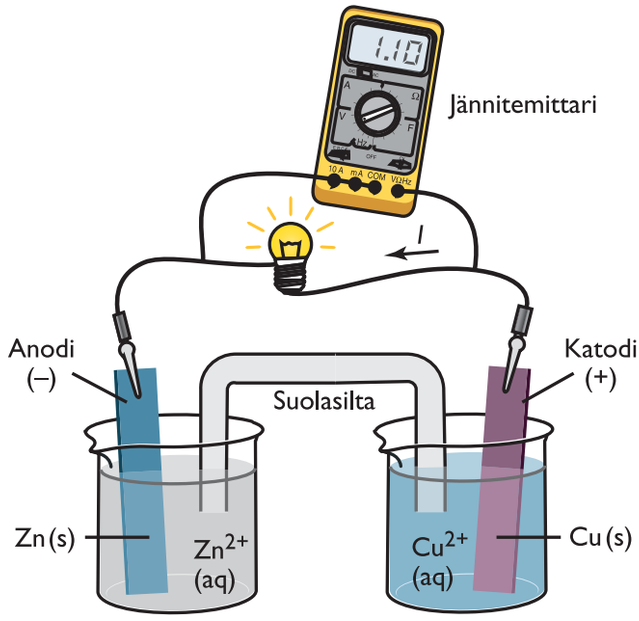


Polttokenno on ympäristöystävällinen tapa tuottaa sähköenergiaa, sillä polttokennon hyötysuhde on hyvä ja vedyn ja hapen reagoidessa muodostuu päästönä vettä. On kuitenkin huomattava, että reagoivien aineiden valmistaminen ei ole päästötöntä. Vetykaasun sijasta voidaan käyttää myös muita aineita, esimerkiksi metaania. Tällöin polttokennossa syntyy myös hiilidioksidia.

Elektrolyysi

Elektrolyysi on tapahtuma, jossa sähkövirran avulla saadaan aikaan hapettumis- ja pelkistymisreaktioita. Kun elektrolyysikennoon johdetaan tasavirtaa, elektrolyyttiliuoksen tai sulatteen positiiviset ionit (eli kationit) saavat elektroneja negatiivisesti varautuneelta elektrodilta eli katodilta ja pelkistyvät. Vastaavasti anionit luovuttavat elektroneja anodille ja hapettuvat. Hapettuminen tapahtuu anodilla ja pelkistyminen katodilla, mutta toisin kuin sähkökemiallisessa parissa, anodi toimii positiivisena kohtiona ja katodi negatiivisena kohtiona. Jotta ei-spontaani elektrolyysi lähtisi käyntiin, käytettävän tasajännitteen pitää olla suurempi kuin vastaavan sähkökemiallisen parin lähdejännite.

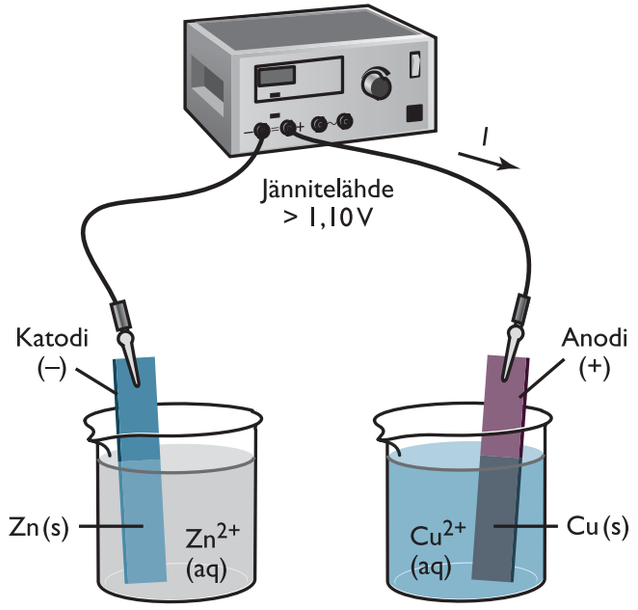
Galvaaninen kenno



$Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

Elektrolyyttikenno



$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$

$Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

Elektrolyysin käyttökohteet

- akkujen lataus
- metallien valmistus, esim. alumiinin valmistaminen alumiinioksidista
- metallien puhdistus, esim. kuparin puhdistus raakakuparista
- metallien päällystäminen toisella metallilla
- alkuaineiden valmistus yhdisteitä hajottamalla.

Elektrolyysin laskennallinen käsittely

Siirtynyt sähkömäärä Q voidaan ratkaista seuraavan yhtälön avulla:

$$Q = I \cdot t$$

I = elektrolyysissä käytetty virta (A)
t = elektrolyysiin käytetty aika (s)
Sähkömäärä voidaan ilmaista myös Faradayn vakion $F = 96\,485$ A · s / mol avulla seuraavasti:

$$Q = I \cdot t = n \cdot z \cdot F$$

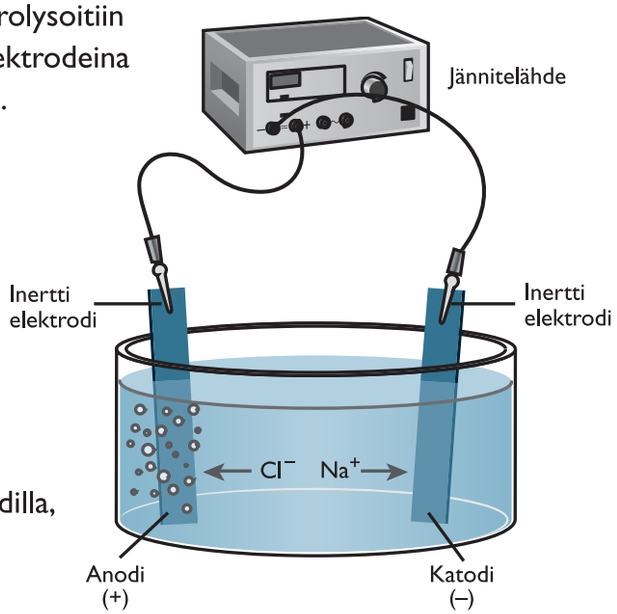
n = hapettuneen tai pelkistyneen aineen ainemäärä
z = elektrolyysissä syntyvien elektronien määrä hapettuvaa tai pelkistyvää atomia, ionia tai molekyyliä kohti

Inertti elektrodi eli passiivinen elektrodi ei osallistu elektrolyysireaktioon, vaan toimii ainoastaan sähkönjohtimena. Inerttejä elektrodeja ovat mm. grafiitti- ja platinaelektrodit.

ESIMERKKI

Elektrolyysi passiivisilla eli inerteillä elektrodeilla

Elektrolyysilaitteistolla elektrolysoitiin natriumkloridin sulatetta. Elektrodeina käytettiin grafiittielektrodeja. Kirjoita anodilla ja katodilla tapahtuvat reaktiot sekä kokonaisreaktio. Laske minimijännite, joka tarvitaan, jotta elektrolyysi lähtisi käyntiin.



$2\,Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$ $\qquad$ $2\,Na^+(l) + 2e^- \rightarrow 2\,Na(s)$

Ratkaisu

Hapettuminen tapahtuu anodilla, pelkistyminen katodilla. Suolasulatteen elektrolyysissä anioni hapettuu ja kationi pelkistyy.

Anodi (hapettuminen)	$2\,Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2\,e^-$	$E° = -1{,}36$ V
Katodi (pelkistyminen)	$2\,Na^+(l) + 2\,e^- \rightarrow 2\,Na(s)$	$E° = -2{,}71$ V
Kokonaisreaktio	$2\,Na^+(l) + 2\,Cl^-(l) \rightarrow 2\,Na(s) + Cl_2(g)$	

Lähdejännite

$$E° = E°_{katodi} + E°_{anodi} = -2{,}71\,V - 1{,}36\,V = -4{,}07\,V$$

Vastaus: Jotta elektrolyysireaktiot lähtisivät käyntiin, tarvitaan vähintään 4,07 V:n tasajännite.

Seoksen elektrolyysissä on normaalipotentiaalien avulla selvitettävä, mikä tai mitkä aineet hapettuvat tai pelkistyvät ensin. Anodilla hapettuu ensin se aine, jonka hapettumisreaktion potentiaali on suurin. Katodilla pelkistyy ensin se aine, jonka pelkistymisreaktion potentiaali on suurin. Reagoivien aineiden konsentraatioerot voivat muuttaa reagointijärjestystä.

Alkalimetallit eivät voi pelkistyä vesiliuoksissa! Esimerkin reaktiossa ei siis voi koskaan muodostua natriummetallia. Natriummetallia voidaan pelkistää elektrolyyttisesti vain suolasulatteesta.

ESIMERKKI

Natriumkloridin vesiliuoksen elektrolyysi inerteillä elektrodeilla

Tarkastele natriumkloridin vesiliuoksen, NaCl(aq), elektrolyysiä ja päättele, mitä reaktiotuotteita elektrolyysissä syntyy.

Ratkaisu

Edellisen esimerkin reaktioiden lisäksi on otettava huomioon veden mahdollinen hapettuminen ja pelkistyminen. Anodilla voi tapahtua seuraavat hapettumisreaktiot:

$2\ Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2\ e^-$ $\qquad E° = -1{,}36\ V$

$2\ H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$ $\qquad E° = -1{,}23\ V$

Hapettumispotentiaalien perusteella anodilla muodostuu happikaasua. Koska potentiaalien arvot ovat lähellä toisiaan, havaitaan myös kloorikaasun muodostumista.

Näille aineille mahdollisia, katodilla tapahtuvia pelkistymisreaktioita ovat:

$2\ Na^+(l) + 2\ e^- \rightarrow 2\ Na(s)$ $\qquad E° = -2{,}71\ V$

$2\ H_2O(aq) + 2\ e^- \rightarrow 2\ OH^-(aq) + H_2(g)$ $\qquad E° = -0{,}83\ V$

Veden pelkistymisreaktion potentiaali on suurempi kuin natriumin, joten katodilla muodostuu vetyä. Natriumin pelkistymispotentiaali on niin pieni, ettei se voi pelkistyä vesiliuoksissa.

ESIMERKKI

Metalliesineen hopeointi

Metalliesineitä voidaan hopeoida elektrolyyttisesti asettamalla hopeoitava esine katodille. Hopeointi perustuu seuraavaan reaktioon:

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

Kuinka suuri määrä hopeaa syntyy, jos 6,0 A:n sähkövirralla elektrolysoidaan 3,0 min?

Ratkaisu

Elektrolyysissä käytetylle sähkömäärälle Q, ainemäärälle n ja siirtyvien elektronien lukumäärälle z pätee yhtälö

$I \cdot t = n \cdot z \cdot F$

Hopean moolimassa on $M = 107{,}87$ g/mol ja siirtyvien elektronien lukumäärä $z = 1$. Lasketaan tarvittava hopean massa m.

$$m = n \cdot M = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F} = \frac{6{,}0\ A \cdot (3{,}0 \cdot 60)\ s \cdot 107{,}87\ \frac{g}{mol}}{1 \cdot 96485\ \frac{A \cdot s}{mol}} = 1{,}2074\ g \approx 1{,}2\ g$$

Vastaus: Hopeaa syntyy 1,2 g.

ESIMERKKI

Seoksen elektrolyysi

Lyijy-, magnesium- ja hopeanitraattia sisältävää liuosta elektrolysoidaan. Elektrolyysikennossa on passiiviset elektrodit, ja elektrolyysissä käytetään 10,0 A:n sähkövirtaa. Elektrolyysiä jatketaan, kunnes molemmilla elektrodeilla havaitaan muodostuvan kuplia.

a) Mitä tuotteita elektrolyysissä saadaan ja missä järjestyksessä?

b) Mitä tuotteita elektrolyysissä syntyy ja kuinka paljon, jos elektrolyysi kestää 1,00 h? Alussa liuoksessa on 0,25 mol hopeanitraattia, 0,25 mol lyijynitraattia ja 0,50 mol magnesiumnitraattia.

Ratkaisu

a) Kirjoitetaan liuoksessa olevien ionien ja veden pelkistymispotentiaalit ja verrataan niitä.

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$ $\quad E° = +0{,}80\,V$

$Pb^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Pb(s)$ $\quad E° = -0{,}13\,V$

$2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$ $\quad E° = -0{,}83\,V$

$Mg^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Mg(s)$ $\quad E° = -2{,}37\,V$

Hopeaioni on voimakkain hapetin, ja se pelkistyy katodilla ensimmäisenä. Hopeaa seuraa lyijy. Kun kaikki lyijy on pelkistynyt, alkaa hajota vesi. Kuplat muodostuvat veden elektrolyysissä: katodilla vesi pelkistyy vetykaasuksi, anodilla vesi hapettuu happikaasuksi. Magnesium ei pelkisty vesiliuoksesta ollenkaan. Anodilla tapahtuu vain veden hapettuminen happikaasuksi. Nitraatti-ioni ei voi hapettua.

$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$ $\quad E° = -1{,}23\,V$

b) Liuoksessa on hopeaioneja 0,25 mol ja lyijyioneja 0,25 mol. Hopean pelkistysreaktiossa siirtyy yksi elektroni, $z = 1$. Ratkaistaan aika, joka kuluu kaiken hopean pelkistämiseen.

$Q = I \cdot t = n \cdot z \cdot F$, josta ratkaistaan aika t.

$$t = \frac{n \cdot z \cdot F}{I} = \frac{0{,}25\ \text{mol} \cdot 1 \cdot 96485\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}}{10{,}0\ \text{A}} = 2412{,}125\ \text{s} \approx 0{,}67\ \text{h}$$

Kaikki liuoksessa olevat hopeaionit siis pelkistyvät. Lasketaan pelkistyneen hopean massa.

$$m(\text{Ag}) = n(\text{Ag}^+) \cdot M(\text{Ag}) = 0{,}25\ \text{mol} \cdot 107{,}87\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 26{,}9675\ \text{g} \approx 27\ \text{g}$$

Koska elektrolyysiaika on 1 h = 3600 s, myös lyijyä alkaa pelkistyä elektrolyysissä. Lasketaan lyijyn pelkistämiseen käytetty aika sekä pelkistyvän lyijyn ainemäärä ja massa, kun pelkistymisreaktiossa siirtyy kaksi elektronia, $z = 2$.

$t = 3600\ \text{s} - 2412{,}125\ \text{s} = 1187{,}875\ \text{s}$

$$n(\text{Pb}) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{10{,}0\ \text{A} \cdot 1187{,}875\ \text{s}}{2 \cdot 96485\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}} = 0{,}06156\ \text{mol}$$

$$m(\text{Pb}) = n(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}) = 0{,}06156\ \text{mol} \cdot 207{,}2\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 12{,}754\ \text{g} \approx 13\ \text{g}$$

Anodilla muodostuu happikaasua. Lasketaan happikaasun ainemäärä ja massa.

$$n(O_2) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{10{,}0\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s}}{4 \cdot 96485\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}} \approx 0{,}09328\ \text{mol}$$

$$m(O_2) = n \cdot M = 0{,}09328\ \text{mol} \cdot 2 \cdot 16{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2{,}98492\ \text{g} \approx 3{,}0\ \text{g}$$

Vastaus: Elektrolyysissä muodostuu katodilla 27 g hopeaa ja 13 g lyijyä sekä anodilla 3,0 g happea.

Pronssipatsas patinoituu, koska kupari hapettuu ilman hapen vaikutuksesta muodostaen metallin pinnalle oksidi-, karbonaatti-, sulfidi- tai sulfaattikerroksen. Sään vaikutuksesta kuparin pinnan oksidikerros muuttuu maaseutuilmastossa karbonaateiksi, teollisuusilmastossa sulfaateiksi ja meri-ilmastossa klorideiksi. Patinoituminen on hidas reaktio, esimerkiksi Vapauden patsaan patinoituminen kesti useita vuosia. Markkinoille on kehitetty valmiiksi patinoitua kuparia.

Korroosio

Yleisesti korroosiolla tarkoitetaan prosessia, jossa ympäristön vaikutuksesta materiaali muuttuu käyttökelvottomaan muotoon. Ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi vesi, ilman kosteus ja koostumus sekä maaperän koostumus.

Kemiallisessa korroosiossa metalli syöpyy ilman hapen vaikutuksesta, jolloin metallin pintaan muodostuu oksidikerros. Jotkut metallit, kuten alumiini, kromi ja sinkki, muodostavat tiiviin oksidikerroksen, joka estää metallia syöpymästä enempää. Kuparin pinnalle muodostuu vihertävä kuparioksidia ja kuparikarbonaattia sisältävä kerros, jota sanotaan patinaksi. Rauta ei muodosta tiivistä oksidikerrosta. Raudan hapettuminen havaitaan ruosteen muodostumisena raudan pinnalle ja raudan syöpymisenä. Korroosiota nopeuttavat suolapitoinen ilmasto (meri-ilmasto), ilmansaasteet (happosateet), ilman epäpuhtaudet (noki ja tomu, jotka sitovat itseensä kosteutta), korkea ilman suhteellinen kosteus ja korkea lämpötila.

Sähkökemiallisessa korroosiossa kahden metallin välille muodostuu nestekontakti. Neste toimii elektrolyyttiliuoksena ja metallien välille muodostuu jännite-ero. Epäjalompi metalli liukenee elektrolyyttiliuokseen ja hapettuu, jalompi metalli pelkistyy.

Korroosiolta voidaan suojautua

- maalaamalla, lakkaamalla, päällystämällä kumilla tai muovilla, rasvaamalla tai öljyämällä ja emaloimalla
- pinnoittamalla toisella metallilla (esim. galvanointi eli päällystäminen sinkillä)
- tiiviillä oksidikerroksella (esim. kupari, alumiini, kromi), jolloin metallipinta passivoituu
- uhrimetallilla eli kiinnittämällä metallin pintaan epäjalompaa metallia (esim. raudan suojaamiseen käytetään yleensä sinkkiä)
- sähköisellä virtapiirillä
- inhibiittoreilla eli kemiallisilla yhdisteillä, jotka hidastavat hapettumisreaktiota
- hiomalla ja kiillottamalla pinnat sileiksi
- seostamalla metalleja (esim. kromi ruostumattomassa teräksessä)
- suunnittelemalla rakenteet niin, ettei vesi jää seisomaan metallipinnoille.

TEHTÄVIÄ

37. Tapahtuuko metallien välillä reaktio? Kumpi metalleista hapettuu ja kumpi pelkistyy? Kirjoita reaktioyhtälö.

a) Sinkkipala upotetaan kuparisulfaattiliuokseen.
b) Kuparipala upotetaan sinkkisulfaattiliuokseen.
c) Magnesiumpala upotetaan sinkkikloridiliuokseen.
d) Lyijypala upotetaan hopeanitraattiliuokseen.

38. a) Miksi kuparikattoa ei kannata kiinnittää rautanauloilla?
b) Miksi rautanaula päällystetään sinkillä?
c) Mitä tarkoittaa uhrimetalli?
d) Miksi pronssista valetut patsaat ovat usein vihertäviä?
e) Miksi uusi auton akku saattaa lakata toimimasta talvipakkasella, jos autolla ajetaan jatkuvasti lyhyttä kaupunkiajoa?

39. Tasapainota seuraavat hapettumis- ja pelkistymisreaktiot:

a) $Zn(s) + Sn^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Sn(s)$
b) $Mg(s) + Cr^{3+}(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + Cr(s)$
c) $Li(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Li^{+}(aq) + Cu(s)$.

40. Tarkastele metallien jännitesarjaa.

a) Mikä metalli voi toimia pelkistimenä Fe^{2+}-ioneille, mutta ei Mg^{2+}-ioneille?
b) Mainitse jokin metalli, jonka voit hapettaa Fe^{2+}-ioneja sisältävällä liuoksella, mutta et Al^{3+}-ioneja sisältävällä liuoksella.
c) Miksi epäjalot metallit eivät yleensä esiinny luonnossa vapaina alkuaineina?
d) Selvitä, mitä eroa on jalolla ja epäjalolla metallilla.

41. Mitkä seuraavista reaktioista tapahtuvat spontaanisti?

a) $Ni(s) + Pb^{2+}(aq) \rightarrow Ni^{2+}(aq) + Pb(s)$
b) $Pb(s) + Cr^{3+}(aq) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + Cr(s)$
c) $Fe(s) + Mg^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + Mg(s)$
d) $2\,Al(s) + 3\,Pb^{2+}(aq) \rightarrow 2\,Al^{3+}(aq) + 3\,Pb(s)$
e) Mikä seuraavista metalli-ioneista on paras hapetin?
   i) Pb^{2+}
   ii) Fe^{2+}
   iii) Sn^{2+}
   iv) Ni^{2+}
   v) Cr^{3+}
f) Mikä seuraavista metalleista on paras pelkistin?
   i) Fe
   ii) Sn
   iii) Al
   iv) Co
   v) Cr

42. Galvaanisen kennon kennokaavio on
$Cu(s) \mid Cu^{2+}(aq) \parallel Ag^{+}(aq) \mid Ag(s)$

a) Piirrä kuva sähkökemiallisesta parista. Merkitse kuvaan jännitemittari, positiivinen ja negatiivinen elektrodi, elektronien kulkusuunta ja sähkövirran kulkusuunta.
b) Selitä, mikä on suolasillan tarkoitus sähköparissa.
c) Kumpi metalleista hapettuu, kumpi pelkistyy?
d) Kirjoita osareaktiot hapettumiselle ja pelkistymiselle.
e) Kirjoita kokonaisreaktio ja laske lähdejännite.

43. Päättele normaalipotentiaalien avulla, liukenevatko seuraavat metallit suolahappoon. Jos metalli liukenee suolahappoon, kirjoita sille tasapainotettu reaktioyhtälö.

a) Zn
b) Pb
c) Ag

44. Raudan korroosionopeuden tutkimiseksi rautanaula laitettiin koeputkeen, johon lisättiin:

a) suolavettä
b) kuivausainetta ja korkki
c) keitettyä vettä ja öljyä
d) rautanaulan ympärille kiedottiin Mg-lankaa ja koeputkeen lisättiin vettä
e) rautanaulan ympärille kiedottiin Cu-lankaa ja koeputkeen lisättiin vettä
f) koeputkeen ei rautanaulan lisäksi lisätty mitään.

Päättele koeputkissa a–f olevien rautanaulojen korroosiojärjestys.

45. Elektrolyysilaitteisto rakennettiin nikkelielektrodista, joka upotettiin Ni^{2+}-ioneja sisältävään liuokseen, ja kadmiumelektrodista, joka upotettiin Cd^{2+}-ioneja sisältävään liuokseen. Elektrolyyttiliuokset yhdistettiin toisiinsa suolasillan ja ulkoisen tasajännitelähteen avulla. Kadmiumionin pelkistymispotentiaali on $Cd^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cd(s)$, $E^\circ = -0{,}40\ V$.

a) Nimeä anodi ja katodi ja kirjoita elektrodeilla tapahtuvat osareaktiot.
b) Piirrä kuva elektrolyyttilaitteistosta ja merkitse kuvaan virran kulkusuunta.
c) Kuinka suuri minimijännite tarvitaan, jotta elektrolyysikenno toimisi?

46. Sulaa kaliumbromidia elektrolysoitiin elektrolyysikennon avulla.

a) Mitä tuotteita syntyy, kun sulaa kaliumbromidia elektrolysoidaan?
b) Kirjoita sulan kaliumbromidin elektrolyysissä anodilla ja katodilla tapahtuvat osareaktiot.

47. Magnesiummetallia valmistetaan elektrolysoimalla magnesiumkloridin sulatesuolaa.

a) Kuinka suuri jännite vähintään tarvitaan, jotta elektrolyysireaktio tapahtuu? Kirjoita elektrodireaktiot ja laske tarvittava jännite.
b) Kuinka suuri virta tarvitaan, kun tavoitteena on valmistaa 1 g magnesiumia yhdessä tunnissa?
c) Miksi magnesiumkloridin elektrolyysissä havaitaan anodilla muodostuvan kloorikaasua?

YLIOPPILAS- JA PÄÄSYKOETEHTÄVIÄ

48. Kun lyijyakku ladataan, tapahtuu kemiallinen reaktio

$$PbSO_4 + 2\ e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$$

ja anodilla samanaikaisesti reaktio

$$PbSO_4 + 2\ H_2O \rightarrow PbO_2 + 4\ H^+ + SO_4^{2-} + 2\ e^-$$

Kuinka paljon (g) metallista lyijyä syntyy katodilla ladattaessa akkuun 105 Ah:n varaus? Kuinka paljon (g) samassa ajassa anodilla syntyy lyijyoksidia?

S-93 tehtävä 4

49. Tutkittaessa neljää eri metallia M_1, M_2, M_3 ja M_4 voitiin tehdä seuraavat havainnot:

- Ainoastaan M_1 ja M_3 reagoivat suolahapon kanssa vapauttaen vetykaasua.
- Kun metallia M_3 lisätään M_1-ioneja, M_2-ioneja ja M_4-ioneja sisältävään liuokseen, saostuvat M_1, M_2 ja M_4 alkuaineina.
- Kun M_4 reagoi M_2-ionien kanssa, saadaan alkuainetta M_2 sekä M_4-ioneja.

a) Luettele metallit pelkistämiskyvyn mukaisessa järjestyksessä siten, että vahvin pelkistin on ensin. Perustele antamasi järjestys. (2 p.)

b) Mitä alkuaineitta kukin metalleista M_1, M_2, M_3 ja M_4 voi olla, kun tiedetään, että yhtä niistä käytetään kuivapareissa, yksi on maankuoren yleisin metallinen alkuaine, yksi on pronssin ainesosa ja yhdestä voidaan valmistaa hyvin ohuita levyjä? (2 p.)

c) Metallin M_3 oksidi on luonteeltaan amfoteerinen. Laadi reaktioyhtälö, jossa tämä oksidi liukenee natriumhydroksidin vesiliuokseen. (2 p.)

K-08 tehtävä 6

50. Metallien korroosio. Tarkastele korroosiota kemiallisena tapahtumana ja esitä keinoja, joilla korroosiota voidaan vähentää.

S-99 tehtävä 7

51. Käytettävissäsi on hopealankaa, kuparilankaa, sinkkilevy ja lyijylevy. Lisäksi saatavilla ovat seuraavien yhdisteiden 1,0 M vesiliuokset: $Cu(NO_3)_2$, $Zn(NO_3)_2$, $AgNO_3$ ja $Pb(NO_3)_2$. Mitä näistä aineista käytät, kun tarkoituksesi on rakentaa mahdollisimman tehokas (suurin jännite) galvaaninen sähkökenno? Perustele. Laadi tässä kennossa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden yhtälöt ja esitä piirroksen avulla kennon rakenne.

S-00 tehtävä 7

52. 10,0 g natriumsulfaattia liuotettiin 100,0 grammaan vettä ja liuosta elektrolysoitiin 4,00 A:n virralla. Elektrodit eivät osallistu reaktioon.

a) Kirjoita anodi- ja katodireaktioiden yhtälöt sekä laadi kokonaisreaktion yhtälö. (2 p.)

b) Kuinka kauan elektrolyysi kestää, jotta natriumsulfaatin pitoisuus liuoksessa nousee 20,0 massaprosenttiin? (4 p.)

K-13 tehtävä 7

53. Esineiden elektrolyyttinen pinnoittaminen kromilla poikkeaa muista sähkökemiallisista pinnoitusprosesseista. Elektrolyysi tehdään kromihappoliuoksesta, jossa kromi esiintyy dikromaatti-ionina. Dikromaatti-ionit pelkistyvät kromiksi seuraavan tasapainottamattoman reaktioyhtälön mukaisesti:

$Cr_2O_7^{2-}(aq) + H^+(aq) + e^- \rightarrow Cr(s) + H_2O(l)$

a) Tasapainota reaktioyhtälö.

b) Kuinka kauan (h) kestää pinnoittaa auton puskuri 0,010 mm paksuisella kromikerroksella, kun elektrolyysikennon virta on 25 A? Auton puskurin pinta-ala on 0,25 m^2 ja kromin tiheys on 7,19 kg/dm^3.

c) Mikä tilavuus happea kehittyy vedestä anodilla b)-kohdan aikana? Lämpötila on 25 °C ja paine 101,325 kPa.
Anodireaktio:
$2\ H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$

DI-yhteisvalinta 2005 / kemian koe tehtävä 4

54. Elektrolysoitaessa kuparisulfaatin vesiliuosta, $CuSO_4(aq)$, katodi pinnoittuu kuparilla ja anodilla vedestä kehittyy happikaasua $O_2(g)$. Oletetaan, että kuparisulfaatti on vesiliuoksessa täydellisesti hajonnut ioneiksi.

a) Kirjoita elektrodeilla tapahtuvat reaktiot ja elektrolyysikennon kokonaisreaktio.

b) Eräässä kokeessa, joka tehtiin 101 kPa paineessa ja 20 °C lämpötilassa, elektrolysointia jatkettiin niin kauan, että kuparia oli saostunut katodille 1,00 g. Mikä sähkömäärä (As) kulki kokeen aikana kennon läpi?

c) Mikä tilavuus happea kehittyi anodilla b)-kohdan kokeen aikana?

DI-yhteisvalinta 2005 / kemian koe tehtävä 2

OSA 2

JAKSO 3

Reaktion energia ja tasapaino

4 Reaktion eteneminen ja tasapaino

5 Happo-emästasapaino

4 Reaktion eteneminen ja tasapaino

Kemialliseen reaktioon liittyvät ylioppilastehtävät voivat olla kuvaajien ja reaktion kulun tulkintaa, reaktioyhtälön kirjoittamista ja tasapainovakion laskemista. Le Châtelierin periaatteen soveltaminen on hallittava, kun tulkitaan reaktion tasapainon asettumista tai tarkastellaan muutoksen vaikutusta kemialliseen tasapainoon. Ylioppilaskokeissa on yleensä liukoisuuslaskuja. Tehtävissä täytyy hallita ionitulon kirjoittaminen ja saadun tuloksen tulkitseminen taulukkokirjan avulla. Harjoittele myös tehtäviä, joissa liuoksen pH tai yhteinen ioni vaikuttaa liukoisuuteen.

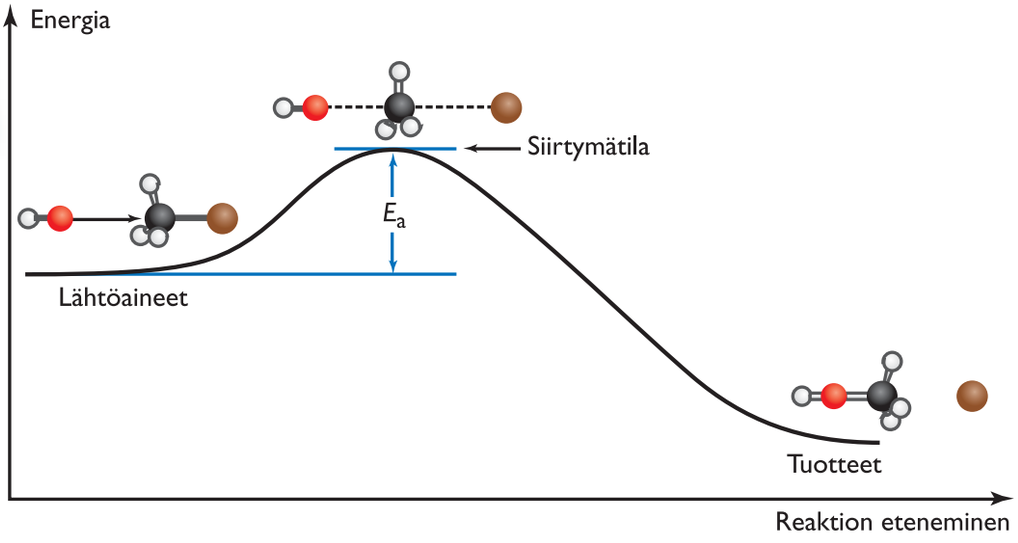
Kemiallisen reaktion energia

Kemiallisessa reaktiossa lähtöaineet reagoivat keskenään tuottaen uusia aineita. Lähtöaineita voi olla yksi tai useampia. Kemiallisessa reaktiossa rakenneosien välisiä sidoksia katkeaa ja uusia sidoksia muodostuu. Reaktion kulkua mallinnetaan atomitasolla siirtymätilateorian avulla. Kemiallisessa reaktiossa useimmiten vapautuu tai sitoutuu lämpöä. Törmäysteorian mukaan kemiallinen reaktio tapahtuu, jos

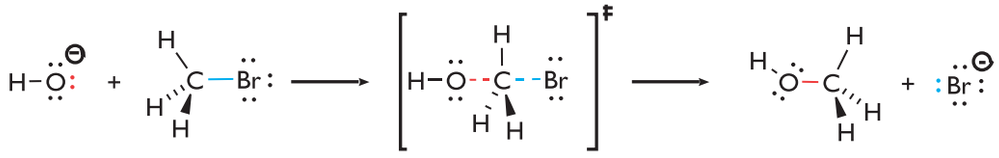
- rakenneosat törmäävät toisiinsa reaktiolle sopivasta suunnasta riittävän suurella nopeudella
- reaktion aktivoitumisenergia E_a ylittyy.

Vain osa rakenneosien törmäyksistä johtaa kemialliseen reaktioon. Tällöin lähtöaineista muodostuu siirtymätila, jossa alkuperäiset sidokset ovat katkeamassa ja uudet muodostumassa. Siirtymätila on lyhytaikainen ja korkeaenerginen, ja se voi johtaa takaisin lähtöaineisiin tai edetä reaktiotuotteisiin.

Siirtymätilaa voidaan merkitä ‡-merkillä.



Bromimetaanin korvautumisreaktio (ks. myös s. 114).



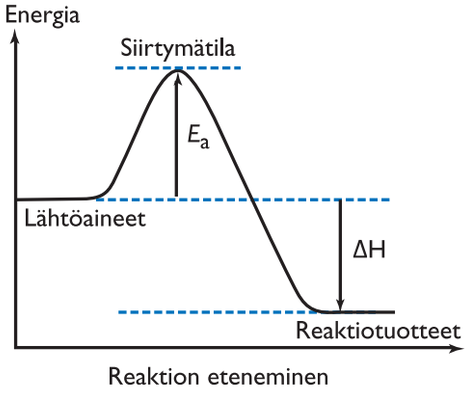
Reaktioentalpia

Reaktioentalpia eli reaktiolämpö tarkoittaa reaktiossa vapautuvaa tai sitoutuvaa energiaa. Reaktioentalpian muutos ΔH saadaan vähentämällä reaktiotuotteiden entalpiasta lähtöaineiden entalpia.

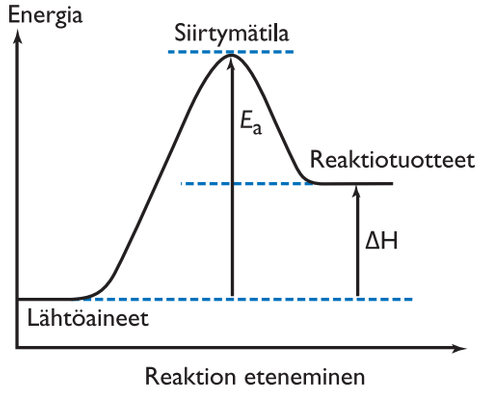
$$\Delta H = H_{\text{reaktiotuotteet}} - H_{\text{lähtöaineet}}$$

- Jos reaktiotuotteiden entalpia on pienempi kuin lähtöaineiden entalpia eli $\Delta H < 0$, lämpöä vapautuu ympäristöön ja reaktio on eksoterminen. Esimerkiksi kaikki palamisreaktiot ovat eksotermisia.
- Jos reaktiotuotteiden entalpia on suurempi kuin lähtöaineiden entalpia eli $\Delta H > 0$, lämpöä sitoutuu ympäristöstä ja reaktio on endoterminen. Esimerkiksi kiinteän ammoniumnitraatin liukeneminen veteen on endoterminen reaktio.
- Hessin lain mukaan reaktioentalpia on riippumaton siitä, minkä välivaiheiden kautta reaktio tapahtuu.

Endotermisen reaktion $\Delta H > 0$ ja eksotermisen reaktion $\Delta H < 0$.



Eksoterminen reaktio



Endoterminen reaktio

Entalpian muutos on riippuvainen paineesta ja lämpötilasta. Yleensä entalpian muutokset ilmoitetaan 25 °C:n lämpötilassa ja 101,325 kPa:n paineessa. Tällöin ΔH:n yläindeksiin merkitään °.

Muodostumisentalpia ΔH_f° on sellaisen reaktion reaktioentalpia, jossa yksi mooli yhdistettä muodostuu perustilaisista (25 °C, 101,325 kPa) alkuaineistaan. Alkuaineiden pysyvimmän muodon (esim. O_2, N_2) muodostumisentalpiaksi on määritelty 0 kJ.

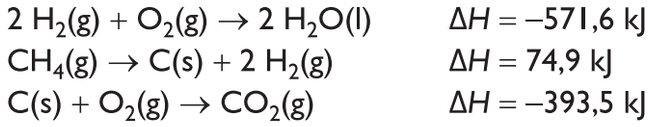
Reaktioentalpia voidaan määrittää myös muodostumisentalpioista
$\Delta H^\circ = n \cdot \Delta H_f^\circ(\text{reaktiotuotteet}) - n \cdot \Delta H_f^\circ(\text{lähtöaineet})$.
Tällöin lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden ainemäärät on otettava huomioon kertoimina.

Muodostumislämpöjä

ESIMERKKI

Hessin laki

Laske Hessin lain avulla metaanin palamisreaktion reaktioentalpia seuraavien reaktioiden avulla:

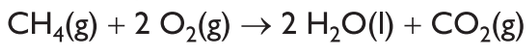


$2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -571{,}6$ kJ
$CH_4(g) \rightarrow C(s) + 2\ H_2(g)$ $\quad \Delta H = 74{,}9$ kJ
$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\quad \Delta H = -393{,}5$ kJ

Ratkaisu

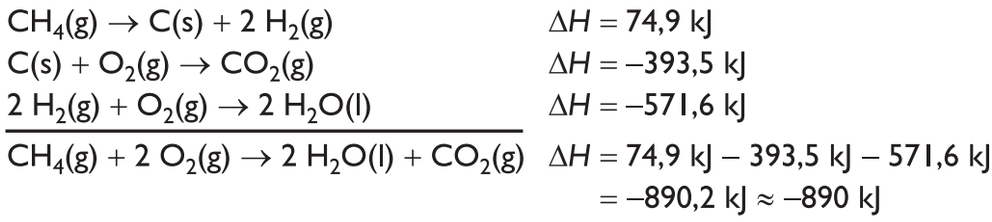
Hessin lain mukaan reaktioentalpia ei riipu reitistä. Kirjoitetaan ensin metaanin palamisreaktio ja jaetaan palamisreaktio osareaktioihin. Reaktioentalpia saadaan laskemalla yhteen osareaktioiden reaktioentalpiat.

Metaanin palamisreaktio:



$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l) + CO_2(g)$

Kirjoitetaan palamisreaktio tehtävänannossa annettujen reaktioyhtälöiden avulla. Samat kemialliset alkuaineet tai yhdisteet voidaan supistaa pois ja tuloksena saadaan viivan alla oleva metaanin palamisreaktio. Lasketaan reaktioentalpiat yhteen, jolloin metaanin palamisreaktion reaktioentalpiaksi saadaan –890 kJ.



$CH_4(g) \rightarrow C(s) + 2\ H_2(g)$ $\quad \Delta H = 74{,}9$ kJ
$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\quad \Delta H = -393{,}5$ kJ
$2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -571{,}6$ kJ

$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l) + CO_2(g)$ $\quad \Delta H = 74{,}9\text{ kJ} - 393{,}5\text{ kJ} - 571{,}6\text{ kJ}$
$= -890{,}2\text{ kJ} \approx -890\text{ kJ}$

Vastaus: Metaanin palamisreaktion reaktioentalpia on –890 kJ. Samaan tulokseen päädytään myös, jos palamisreaktion reaktioentalpia laskettaisiin muodostumislämpöjen avulla.

Huom! Jos reaktio kerrotaan, myös reaktioentalpia on kerrottava.

Reaktionopeus ja siihen vaikuttavat tekijät

Reaktion nopeus määritellään aineen konsentraation muutoksena aikayksikössä:

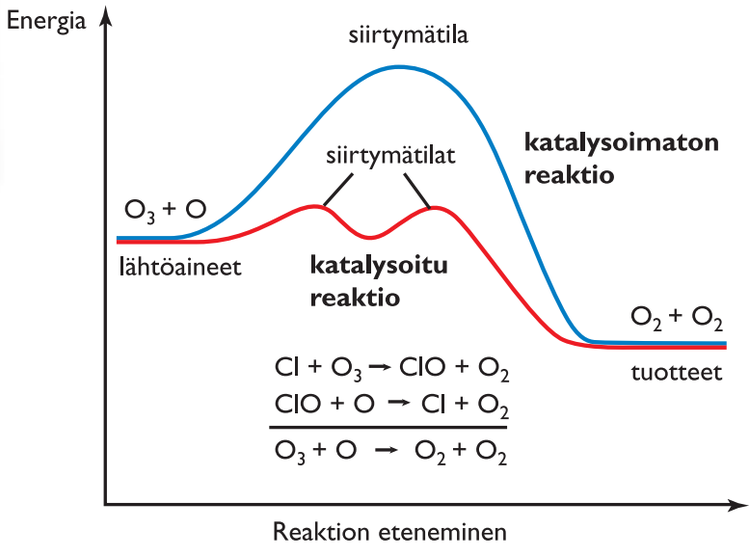
$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

Reaktionopeuteen vaikuttavat tekijät

- Lähtöaineiden reaktiivisuus vaikuttaa reaktionopeuteen.
- Lämpötilan kohotessa reaktioon johtavien törmäysten lukumäärä aikayksikössä kasvaa, ja sen seurauksena reaktionopeus kasvaa.
- Konsentraation kasvaessa reaktioon johtavien törmäysten lukumäärä aikayksikössä kasvaa, jolloin reaktionopeus kasvaa.
- Katalyytillä reaktio voidaan ohjata kulkemaan reittiä, jossa aktivoitumisenergia on pienempi ja reaktionopeus kasvaa. Katalyytti on aine, joka nopeuttaa reaktiota, mutta ei itse kulu reaktiossa.
- Inhibiittori hidastaa reaktion nopeutta.
- Lähtöaineiden hienojakoisuus kasvattaa reaktiopinta-alaa, jolloin törmäysten lukumäärä kasvaa ja reaktio tapahtuu nopeammin.
- Paineen kasvaessa kaasujen pitoisuus tilavuusyksikössä kasvaa, mikä yleensä nopeuttaa reaktiota.
- Steerinen este kasvattaa reaktion aktivoitumisenergiaa ja hidastaa reaktion nopeutta. Molekyylien geometria voi estää reaktiolle suotuisia törmäyksiä.

Entsyymit eli biokatalyytit toimivat katalyytteina biologisissa ja biokemiallisissa reaktioissa.

Suurilla molekyyleillä molekyylin reagoiva kohta voi olla molekyylien muiden osien peitossa, jolloin reaktioon johtavia törmäyksiä tapahtuu vähän tai ei ollenkaan. Reaktion hidastumista molekyylin avaruudellisen geometrian takia sanotaan steeriseksi esteeksi.

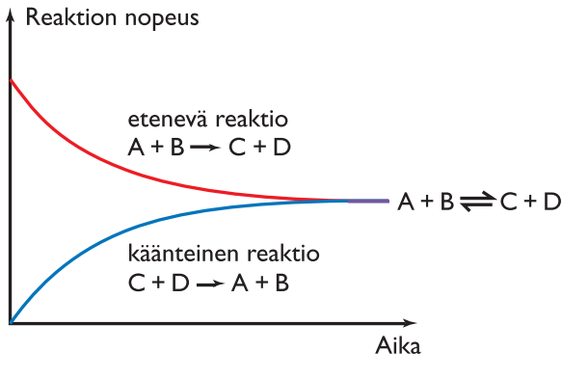


Katalyytin vaikutus reaktionopeuteen.

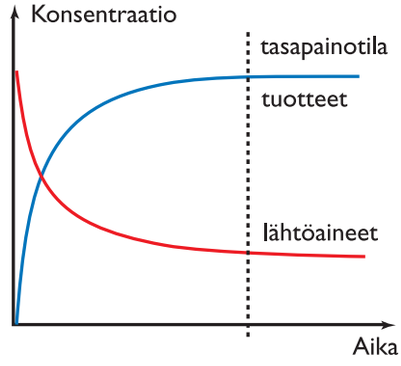
Tasapainoreaktiot

– Reaktioita, jotka tapahtuvat vain yhteen suuntaan, sanotaan palautumattomiksi eli irreversiibeleiksi reaktioiksi.
  • Lähtöaineet $\rightarrow$ reaktiotuotteet
– Palautumattomia reaktioita ovat esimerkiksi palamisreaktiot ja aineiden hajoamisreaktiot.
– Palautuvassa eli reversiibelissä reaktiossa tapahtuu etenevän reaktion lisäksi käänteinen reaktio.
  • Lähtöaineet $\rightleftharpoons$ reaktiotuotteet
– Palautuvassa reaktiossa reaktiotuotteet alkavat reagoida takaisin lähtöaineikseen. Tällöin lähtöaineiden reaktionopeus tuotteiksi hidastuu.
– Tasapainossa etenevän ja käänteisen reaktion nopeudet ovat samat. Tällöin reaktiotuotteita muodostuu ja hajoaa koko ajan yhtä paljon, joten lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden konsentraatiot eivät muutu.
– Tasapainotila riippuu lähtöaineiden konsentraatioista, paineesta ja lämpötilasta.
– Homogeenisessa tasapainossa kaikki lähtöaineet ja reaktiotuotteet ovat samassa faasissa.
– Heterogeenisessa tasapainossa ainakin yksi aine on eri faasissa kuin muut.

Dynaaminen tasapainotila on tila, jossa etenevän ja käänteisen reaktion nopeudet ovat yhtäsuuret.



Tasapainotilassa etenevän ja käänteisen reaktion reaktionopeudet ovat yhtä suuret.



Tasapainotilassa reaktion lähtöaineiden ja tuotteiden konsentraatiot eivät muutu.

Tasapainovakio

Kemiallisen reaktion
$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$
tasapainovakio tietyssä lämpötilassa määritellään seuraavasti:

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

missä [A] ja [B] ovat lähtöaineiden tasapainokonsentraatioita,
[C] ja [D] reaktiotuotteiden tasapainokonsentraatioita ja
a, b, c ja d reaktioyhtälön stoikiometrisia kertoimia.

Yleisessä muodossa tasapainovakion K lauseketta reaktiolle
$aA + bB + \ldots \rightleftharpoons lL + mM + \ldots$
kutsutaan massavaikutuksen laiksi, joka on muotoa

$$K = \frac{[L]^l \cdot [M]^m \ldots}{[A]^a \cdot [B]^b \ldots}.$$

$K >> 1$ Reaktion tasapaino on reaktiotuotteiden puolella.
$K << 1$ Reaktion tasapaino on lähtöaineiden puolella.

ESIMERKKI

Tasapainovakion lauseke

Määritä reaktion tasapainovakion lauseke.

a) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\,HI(g)$

b) $N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3(g)$

c) Laske tasapainovakion arvo a-kohdan reaktiolle, kun suljettuun 1,00 litran astiaan johdettiin vetykaasua ja kaasumaista jodia. Tasapainon asetuttua kaasujen konsentraatiot olivat $[HI] = 0{,}750\ mol/dm^3$, $[H_2] = 0{,}090\ mol/dm^3$ ja $[I_2] = 0{,}085\ mol/dm^3$.

Ratkaisu

a) $$K = \frac{[HI]^2}{[H_2] \cdot [I_2]}$$

b) $$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$$

c) $$K = \frac{[HI]^2}{[H_2] \cdot [I_2]} = \frac{\left(0{,}750\ \frac{mol}{dm^3}\right)^2}{0{,}090\ \frac{mol}{dm^3} \cdot 0{,}085\ \frac{mol}{dm^3}} = 73{,}53 \approx 74.$$

Katalyytti ei vaikuta reaktion tasapainoasemaan, mutta se nopeuttaa tasapainotilan muodostumista.

Le Châtelierin periaate

Jos tasapainotilassa olevaa systeemiä häiritään, systeemi pyrkii minimoimaan häirinnän vaikutuksen.

- Konsentraation muuttaminen
  - Lähtöaineen konsentraation kasvattaminen tai reaktiotuotteen poistaminen reaktioseoksesta siirtää tasapainoa reaktiotuotteiden suuntaan.
- Paineen muuttaminen
  - Paineen lisääminen siirtää tasapainoa suuntaan, jossa kaasujen kokonaisainemäärä on pienempi.
  - Jos kaasumaisten lähtöaineiden ja tuotteiden ainemäärät ovat samat, paineen muutoksella ei ole vaikutusta reaktion kulkuun.
- Lämpötilan muuttaminen
  - Lämpötilan kohottaminen siirtää reaktion tasapainoa endotermisen reaktion suuntaan.

ESIMERKKI

Le Châtelierin periaate

Tarkastellaan reaktiota
$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\,HI(g)$, missä $\Delta H = 26{,}5$ kJ.
Päättele, mihin suuntaan reaktion tasapaino siirtyy, jos

a) vetyjodidia lisätään reaktioseokseen
b) vetyjodidia poistetaan reaktioseoksesta
c) jodia lisätään reaktioseokseen
d) lämpötilaa kasvatetaan
e) painetta kasvatetaan?

Ratkaisu

Le Châtelierin periaatteen mukaan systeemi pyrkii minimoimaan tasapainotilan muutoksen vaikutusta.

a) Jos vetyjodidia lisätään reaktioseokseen, tasapaino siirtyy lähtöaineiden suuntaan eli vasemmalle.

b) Jos vetyjodidia poistetaan reaktioseoksesta, tasapaino siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan eli oikealle.

c) Jos jodia lisätään reaktioseokseen, tasapaino siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan, koska systeemi pyrkii vähentämään lisätyn lähtöaineen konsentraatiota.

d) Lämpötilan kasvaessa reaktion tasapaino siirtyy endotermiseen suuntaan eli tässä tapauksessa reaktiotuotteiden suuntaan.

e) Paineen lisääminen siirtää tasapainoa suuntaan, jossa kaasujen kokonaisainemäärä on pienempi. Tarkasteltaessa lähtöaineita ja tuotteita huomataan, että lähtöaineiden kaasumoolien lukumäärä on yhtä suuri kuin tuotteiden. Tämän perusteella paineen muuttaminen ei muuta reaktion tasapainoa.

Ionitulo ja liukoisuustulo

Tasapainovakion yleisestä lausekkeesta voidaan johtaa ionitulon ja liukoisuustulon lausekkeet.
Liukenemisreaktiolle

$$A_xB_y(s) \rightleftharpoons xA^{m+}(aq) + yB^{n-}(aq)$$

voidaan kirjoittaa liukoisuustulo

$$K_s = \left[A^{m+}\right]^x \cdot \left[B^{n-}\right]^y.$$

- Jos liukenevan suolan anioni on vahva emäs tai heikon hapon vastinemäs, liukoisuus kasvaa happamissa olosuhteissa. Esimerkiksi kalsiumkarbonaatin $CaCO_3$ liukoisuus kasvaa happamissa liuoksissa, koska suolan anioni CO_3^{2-}-ioni on heikko emäs.
- Jos liuoksessa on jo liukenevan suolan ioneja, suolan liukoisuus pienenee.

Niukkaliukoisen suolan saostuman muodostumisen tutkimisessa voidaan käyttää ionituloa, joka on muodoltaan kuten liukoisuustulo. Ionitulon lausekkeeseen sijoitetaan tutkitussa tilanteessa olevat konsentraatiot.

$$Q = \left[A^{m+}\right]^x \cdot \left[B^{n-}\right]^y$$

- Jos $Q = K_s$, liuos on kylläinen ja kyseessä on dynaaminen tasapainotila.
- Jos $Q > K_s$, suola saostuu ja liuos on ylikylläinen.
- Jos $Q < K_s$, liuos ei ole kylläinen ja suolaa voi vielä liueta.

ESIMERKKI

Liukoisuuden muuttuminen

Pohdi, miten kalsiumhydroksidin $Ca(OH)_2$ liukoisuus muuttuu, jos vesiliuoksen sijasta käytetään suolahappoa.

Ratkaisu

Kalsiumhydroksidin liukenemisreaktio:
$Ca(OH)_2(s) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$.
Happoliuoksessa hydroksidi-ionit reagoivat hapon oksoniumionien kanssa:
$H_3O^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow 2\ H_2O(l)$.
Koska hydroksidi-ionien konsentraatio liuoksessa pienenee neutraloitumisreaktion seurauksena, kalsiumhydroksidia voi liueta enemmän. Kalsiumhydroksidin liukoisuus siis kasvaa happoliuoksessa.

Liukoisuustuloja

ESIMERKKI

Saostuman muodostuminen

Muodostuuko saostuma, kun 100 ml:aan 0,002 M NaOH-liuosta sekoitetaan 100 ml 0,002 M $Mg(NO_3)_2$-liuosta?

Ratkaisu

Tutkitaan ensin, mitä suoloja liuosten sekoittuessa syntyy. Liuoksessa on Na^+-, OH^--, Mg^{2+}- ja NO_3^--ioneja. Natriumnitraatti on runsasliukoinen, mutta magnesiumhydroksidi voi saostua. Määritetään magnesiumhydroksidin ionitulo. Jos $Q = K_s$, on kyseessä kylläinen liuos eikä saostumaa muodostu. Jos $Q < K_s$, liuos ei ole kylläinen ja suolaa voi vielä liueta. Liukoisuustulon arvot katsotaan taulukkokirjasta.

Saostumisreaktio

$$Mg^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq) \rightleftharpoons Mg(OH)_2(s)\ .$$

Liukoisuustulo

$$K_s\left(Mg(OH)_2\right) = \left[Mg^{2+}\right]\cdot\left[OH^-\right]^2 = 5{,}6\cdot10^{-12}\left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^3.$$

Sekoituksen jälkeen kokonaistilavuus on 200 ml. Lasketaan ionien konsentraatiot.

$$\left[Mg^{2+}\right] = \frac{0{,}10\ \text{l}\cdot 0{,}002\ \text{M}}{0{,}20\ \text{l}} = 0{,}001\ \text{M}$$

$$\left[OH^-\right] = \frac{0{,}10\ \text{l}\cdot 0{,}002\ \text{M}}{0{,}20\ \text{l}} = 0{,}001\ \text{M}$$

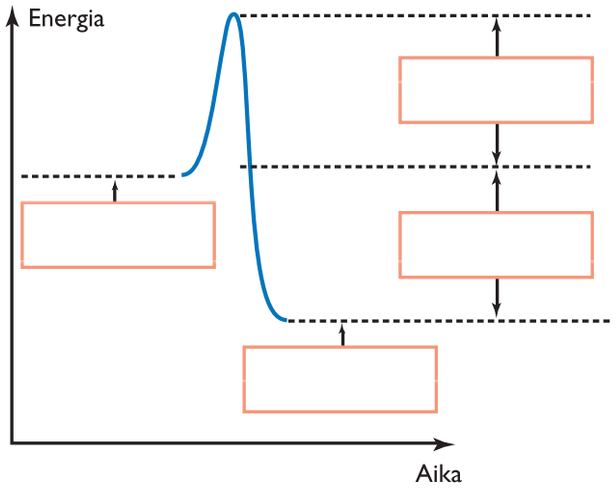
Ionitulo

$$Q = \left[Mg^{2+}\right]\cdot\left[OH^-\right]^2 = 0{,}001\ \text{M}\cdot(0{,}001\ \text{M})^2 = 1\cdot10^{-9}\left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^3 > K_s,$$

joten magnesiumhydroksidi saostuu liuoksesta. Ionien loppukonsentraatiot voidaan päätellä myös siitä, että tilavuuden kaksinkertaistuessa alkuperäiset ionikonsentraatiot puolittuvat.

TEHTÄVIÄ

55. a) Sijoita aukkoihin sanat lähtöaineet, reaktiotuotteet, aktivoitumisenergia E_a, reaktion entalpia ΔH.

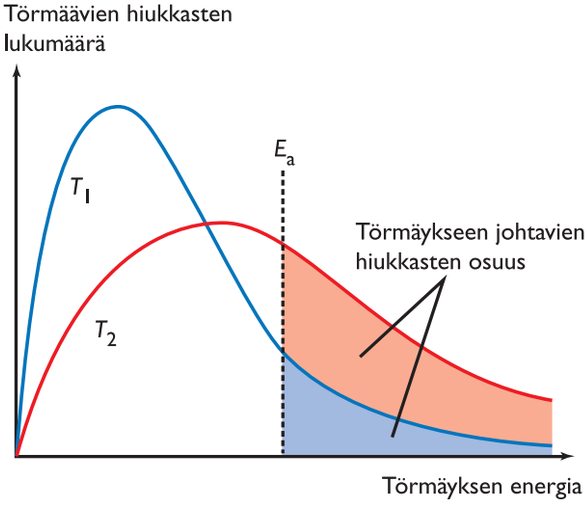


b) Onko reaktio endo- vai eksoterminen?

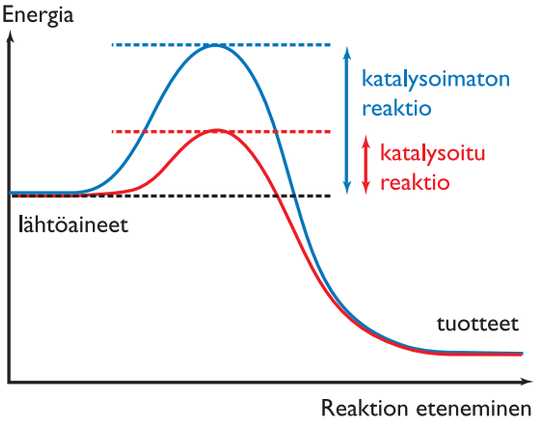
c) Tarkastele käänteistä reaktiota. Mitä voit sanoa reaktioentalpiasta?

d) Eräästä kemiallisesta reaktiosta tiedetään, että se on endoterminen ja reaktion aktivoitumisenergia on kaksi kertaa suurempi kuin reaktioentalpia. Piirrä energiatasokaavio ja merkitse siihen E_a, ΔH, lähtöaineet ja tuotteet.

56. a) Tarkastele alla olevaa kuvaajaa ja selitä, miten kuvasta voidaan päätellä, että kemiallisen reaktion nopeus kasvaa lämpötilan kasvaessa. Tiedetään, että $T_1 < T_2$.



b) Tarkastele alla olevaa kuvaa ja selitä, miten katalyytti vaikuttaa reaktion nopeuteen.



57. Yhteyttämisessä eli fotosynteesissä kasvit tuottavat hiilidioksidista ja vedestä auringon energian avulla glukoosia ja happea:

$$6\,H_2O(l) + 6\,CO_2(g) \xrightarrow{h\nu} C_6H_{12}O_6(s) + 6\,O_2(g).$$

Laske reaktioentalpia käyttäen hyväksi alla olevaa taulukkoa. Onko reaktio endo- vai eksoterminen?

Lähtöaine/reaktiotuote	ΔH_f° (kJ)
$H_2O(g)$	–286
$CO_2(g)$	–394
$C_6H_{12}O_6(s)$	–1273
$6\,O_2(g)$	0

58. Ammoniakkia valmistetaan Haber-Bosch-prosessilla typestä ja vedystä.

$$N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3(g)$$
$$\Delta H = -92\ \text{kJ / mol}$$

Päättele, mihin suuntaan reaktion tasapaino siirtyy, jos

a) reaktioseoksen lämpötilaa kasvatetaan

b) reaktioseoksen painetta nostetaan

c) ammoniakkia poistetaan reaktioseoksesta?

d) Miksi reaktiossa käytetään kuitenkin korkeaa lämpötilaa?

59. Alla on dynaamista tasapainoa koskevia väittämiä. Ovatko väittämät oikein vai väärin? Korjaa väärät väittämät.

a) Etenevän ja käänteisen reaktion reaktionopeudet ovat samat.
b) Katalyytin lisääminen reaktioseokseen muuttaa reaktion tasapainotilaa.
c) Dynaamisen tasapainon asetuttua ei enää tapahdu kemiallisia reaktioita.
d) Lähtöaineen lisääminen reaktioseokseen vakiolämpötilassa muuttaa reaktion tasapainovakion arvoa.
e) Paineen alentaminen siirtää reaktion tasapainoa suuntaan, jossa kaasumaisten aineiden määrä on suurempi.
f) Lämpötilan muuttaminen ei vaikuta tasapainovakion arvoon.

60. a) Laske hiilidioksidin muodostumislämpö $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ käyttäen hyväksi seuraavia tietoja:

$C(s) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow CO(g) \qquad \Delta H = -110$ kJ

$CO(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -283$ kJ

b) Laske butaanin, C_4H_{10}, muodostumislämpö $4\ C(s) + 5\ H_2(g) \rightarrow C_4H_{10}(g)$ käyttäen hyväksi seuraavia tietoja:

$4\ C(s) + 5\ H_2(g) + 6\frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow 4\ CO_2(g) + 5\ H_2O(l) \quad \Delta H = -3002$ kJ

$C_4H_{10}(g) + 6\frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow 4\ CO_2(g) + 5\ H_2O(l) \quad \Delta H = -2877$ kJ

61. a) Laske, kuinka monta grammaa kalsiumfluoridia CaF_2 voi liueta veteen.

Kerro sanallisesti:

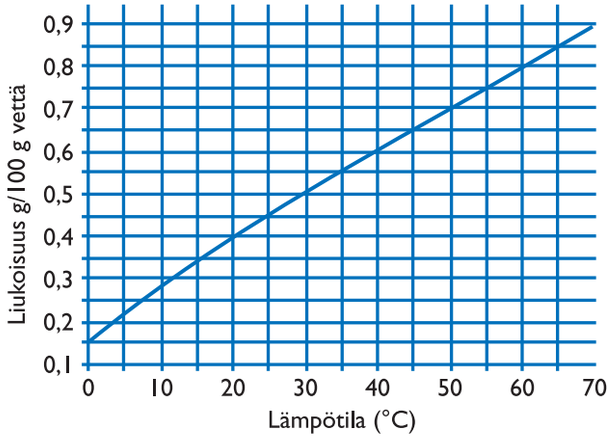
b) Miten kalsiumfluoridin CaF_2 liukoisuus muuttuu, jos sitä liuotetaan 0,10 M NaCl-liuokseen?
c) Miten kalsiumfluoridin CaF_2 liukoisuus muuttuu, jos sitä liuotetaan 0,10 M HCl-liuokseen?
d) Miten kalsiumfluoridin CaF_2 liukoisuus muuttuu, jos sitä liuotetaan 0,10 M NaF-liuokseen?

62. Kuinka suuri on bariumsulfaatin liukoisuus natriumsulfaattiliuokseen, jonka konsentraatio on 0,020 mol/dm^3? Bariumsulfaatin liukoisuustulo $K_s = 1{,}5 \cdot 10^{-9}$ (mol/l)^2.

63. Kun 0,10 M hopeanitraattiliuosta lisätään 0,15 M kalsiumkloridiliuokseen, saostuu niukkaliukoista hopeakloridia. Laske, kuinka paljon hopeakloridia muodostuu, jos kalsiumkloridiliuoksen tilavuus on 50,0 ml.

YLIOPPILAS- JA PÄÄSYKOETEHTÄVIÄ

64. Oheisessa kuvassa on esitetty lyijy(II)kloridin liukoisuus grammoina 100 grammaan vettä eri lämpötiloissa.



0,75 grammaa lyijy(II)kloridia sekoitetaan 100 millilitraan vettä.

a) Kuinka paljon $PbCl_2$ jää liukenematta lämpötilassa 20 °C?

b) Kuinka korkeaksi tulee lämpötila nostaa, jotta kaikki $PbCl_2$ liukenisi?

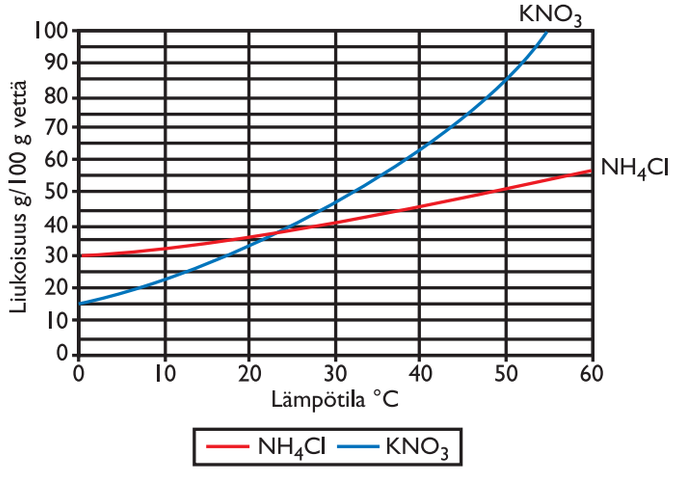
Laske kuvan avulla myös

c) lyijy(II)kloridin liukoisuus (mol/l) lämpötilassa 35 °C

d) lyijy(II)kloridin liukoisuustulon arvo lämpötilassa 20 °C.

S-04 tehtävä 3

65. Oheisessa kuvassa on esitetty kaliumnitraatin ja ammoniumkloridin liukoisuus veteen eri lämpötiloissa.



a) Missä lämpötilassa suolojen liukoisuus on yhtä suuri? (1 p.)

b) Mikä on kaliumnitraatin liukoisuus (mol/l) lämpötilassa 40 °C? (2 p.)

c) Perustele, lämpeneekö vai jäähtyykö liuos suolojen liuetessa veteen? (1 p.)

d) Mitä ioneja tai molekyylejä esiintyy ammoniumkloridin kylläisessä vesiliuoksessa? (2 p.)

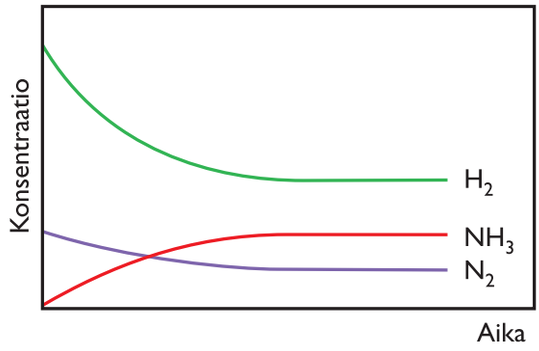
K-07 tehtävä 5

66. Erään reaktion kulkua voidaan havainnollistaa oheisessa kuviossa esitetyllä tavalla.

a) Mistä reaktiosta on kyse?

b) Miten kuviosta ilmenevät konsentraatiomuutokset voidaan selittää?

c) Miten etenevän ja käänteisen reaktion nopeus muuttuu reaktion aikana?



K-04 tehtävä 6

67. Syklopropaani on pysymätön yhdiste, joka muuttuu hitaasti propeeniksi. Seurattaessa syklopropaanin konsentraation muutosta reaktion edistyessä saatiin seuraavat tulokset:

Aika t (min)	0	5	10	15	20	25	30	40	60
c(syklo-propaani) (10^{-3} mol/l)	1,5	1,24	1,00	0,83	0,68	0,56	0,46	0,31	0,14

a) Laadi kuvaaja, joka osoittaa, miten syklopropaanin konsentraatio muuttuu reaktion edistyessä. Piirrä samaan kuvaan reaktiotuotteen, propeenin, konsentraation muuttumista osoittava kuvaaja. (2 p.)
b) Mikä on reaktion keskinopeus viiden ensimmäisen minuutin aikana? Miksi nopeus muuttuu reaktion edetessä? (1 p.)
c) Arvioi kuvaajasta reaktion nopeus hetkellä $t = 25$ min. (2 p.)
d) Reaktion puoliintumisajalla t tarkoitetaan aikaa, joka kuluu lähtöaineen konsentraation puolittumiseen. Mikä on tämän reaktion puoliintumisaika? (1 p.)

S-08 tehtävä 6

68. 15 millilitraan 0,0010 M hopeanitraattiliuosta lisättiin 15 ml 0,0010 M natriumkloridiliuosta.
a) Osoita, että astiaan saostuu hopeakloridia. (2 p.)
b) Laske hopeaionin konsentraatio liuoksessa, kun tasapaino on asettunut. (4 p.)

Hopeakloridin liukoisuustulo on $K_L = 1{,}8 \cdot 10^{-10}$ (mol/l)^2.

K-06 tehtävä 8

69. Etikkahapon hopeasuola, hopea-asetaatti, on veteen niukkaliukoinen, mutta liukenee happoihin. Hopea-asetaatin liukoisuustulo $K_S = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ (mol/l)^2.
a) Laske hopea-asetaatin liukoisuus (g/l) veteen. (1 p.)
b) Millä perusteella voidaan päätellä, että hopea-asetaatti liukenee happoliuoksiin? (2 p.)
c) Kuinka monta milligrammaa hopeanitraattia liukenee puskuriliuokseen, joka on valmistettu lisäämällä 50,0 millilitraan 0,10 M etikkahappoa 15 millilitraa 0,20 M natriumhydroksidia? (3 p.)

K-12 tehtävä 9

70. Kemiallinen tasapaino. Miten tasapainotilaan voidaan vaikuttaa?

K-03 tehtävä +8

71. Dityppitetraoksidia käytetään rakettien polttoainejärjestelmissä hapettimena. Lämpötilan kohotessa väritön kaasumainen dityppitetraoksidi alkaa dissosioitua punaisen ruskeaksi typpidioksidiksi:

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\,NO_2(g)$

Reaktion tasapainovakion arvo lämpötilassa 25 °C on $4{,}61 \cdot 10^{-3}$ mol/l.
a) Onko reaktio endo- vai eksoterminen? Perustele vastauksesi. (2 p.)
b) Kuinka monta prosenttia dityppitetraoksidista dissosioituu typpidioksidiksi, kun 0,372 litran astiaan suljetaan 0,0240 moolia N_2O_4 lämpötilassa 25 °C? (3 p.)
c) Dityppitetraoksidin dissosioitumista tutkittiin myös muuttamalla lähtöaineen määrää, reaktioastian tilavuutta ja lämpötilaa. Tällöin kaasuseoksen tiheydeksi lämpötilassa 35,0 °C mitattiin 0,832 g/l paineen ollessa 0,309 bar. Mikä oli dityppitetraoksidin dissosioitumisaste näissä olosuhteissa? (4 p.)

K-13 tehtävä +12

72. Lyijysulfaatin niukkaliukoisuutta käytetään hyväksi lyijyn kvantitatiivisessa määrityksessä. Määrityksessä lyijyionit saostetaan täydellisesti lyijysulfaattina lisäämällä liuokseen esimerkiksi ylimäärin laimeaa rikkihappoa. Saostuma pestään mahdollisten epäpuhtauksien poistamiseksi, jolloin myös osa lyijysulfaatista liukenee pesuliuokseen.

Eräässä määrityksessä saatiin 0,303 g lyijysulfaattia.

a) Kuinka monta prosenttia lyijysulfaatista liukenee, jos saostuma pestään 200 ml:lla vettä?

b) Kuinka monta prosenttia lyijysulfaatista liukenee, jos saostuma pestään veden asemasta 200 ml:lla $(NH_4)_2SO_4$-liuosta, jonka konsentraatio on 0,100 mol/dm^3?

$K_S(PbSO_4) = 1{,}3 \cdot 10^{-8}$ mol^2/dm^6

DI-yhteisvalinta 2012 / kemian koe tehtävä 6

73. a) Laske reaktiolämpö ΔH (kJ) reaktiolle:
$N_2(g) + 2\ H_2(g) \rightarrow N_2H_4(l)$,
kun tunnetaan seuraavien reaktioiden reaktiolämmöt kyseisissä olosuhteissa:
$N_2H_4(l) + H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)$ $\Delta H = 142$ kJ
$2\ N_2(g) + 6\ H_2O(l) \rightarrow 4\ NH_3(g) + 3\ O_2(g)$ $\Delta H = 1523$ kJ
$H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ $\Delta H = -285$ kJ

b) Hydratsiinia, N_2H_4, voidaan käyttää nestemäisenä rakettipolttoaineena. Hydratsiini voidaan hapettaa joko hapella tai dityppitetroksidilla, N_2O_4, seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti:
(1) $N_2H_4(l) + O_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2\ H_2O(g)$
(2) $2\ N_2H_4(l) + N_2O_4(l) \rightarrow 3\ N_2(g) + 4\ H_2O(g)$
Paljonko reaktioissa 1 ja 2 vapautuu lämpöä (MJ) hydratsiinikilogrammaa (1,00 kg) kohden perustilassa (25 °C, 101 325 Pa)?
Tunnetaan seuraavat perusmuodostumislämmöt $\Delta H_f°$ (25 °C, 101 325 Pa):
$N_2H_4(l)$ 50,2 kJ/mol, $N_2O_4(l)$ 51,9 kJ/mol, $H_2O(g)$ –242,0 kJ/mol.

DI-yhteisvalinta 2010 / kemian koe tehtävä 3

74. Suljettuun reaktioastiaan, jonka tilavuus oli 1,00 dm^3, johdettiin H_2- ja I_2-kaasua ja lämpötila nostettiin 229 °C:seen. Vety- ja jodikaasu reagoivat vetyjodidikaasuksi seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\ HI(g)$$

Tasapainon asetuttua kaasujen konsentraatiot astiassa olivat seuraavat:

$[HI] = 0{,}490$ mol/dm^3, $[H_2] = 0{,}080$ mol/dm^3 ja $[I_2] = 0{,}060$ mol/dm^3.

a) Laske reaktion tasapainovakion, K_C , arvo 229 °C:ssa.

b) Mihin suuntaan tasapainoasema siirtyy, jos reaktioastiaan lisätään HI-kaasua? Lämpötila on 229 °C. Perustele vastauksesi.

c) Jos tasapainossa olevaan kaasuseokseen lisätään 0,300 mol HI-kaasua, mitkä ovat kaasujen konsentraatiot astiassa uuden tasapainon asetuttua? Lämpötila on 229 °C.

DI-yhteisvalinta 2006 / kemian koe tehtävä 3

5 Happo-emästasapaino

Happoihin ja emäksiin liittyvät tehtävät käsittävät tasapainokonsentraatioiden laskemista, happo- ja emäsvakion arvon laskemista, pH-laskuja sekä puskuriliuoslaskuja. Kokeellinen tehtävä voi käsitellä happo-emästitrausta, jossa happoa titrataan emäksellä tai päinvastoin, ja tehtävänä on piirtää ja tulkita titrauskäyrää. Taulukkokirjasta löydät happo- ja emäsvakiot, joita tarvitset laskuissa. Harjoittele heikon hapon tai emäksen ja puskuriliuoksen pH:n laskemista, jotta saat riittävästi laskurutiinia.

Hapot ja emäkset

Vetyionista käytetään myös nimitystä protoni silloin, kun kyseessä on vedyn isotooppi, jossa ei ole yhtään neutronia.

Brønsted-Lowryn teorian mukaan happo on aine, joka voi luovuttaa protonin H^+, ja emäs aine, joka voi vastaanottaa protonin. Happo-emäsreaktioissa eli protoninsiirtoreaktioissa (protolyysireaktioissa) happo luovuttaa vähintään yhden protonin emäkselle. Amfolyytti on aine, joka voi toimia sekä happona että emäksenä. Esimerkiksi vesi on amfolyytti.

$$HCl(g) + H_2O(l) \rightarrow Cl^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

Happo ja sitä vastaava vastinemäs muodostavat happo-emäsparin. Vahvan hapon vastinemäs on aina heikko emäs ja vahvan emäksen vastinhappo heikko happo.

happo 1 + emäs 2 $\rightleftharpoons$ emäs 1 + happo 2

Vahvojen happojen ($K_a > 1$ ja $pK_a < 0$) molekyylit protolysoituvat lähes täydellisesti vedessä. Tällöin happomolekyyli hajoaa anioniksi ja vetyioniksi eli protoniksi, jonka vesimolekyylit vastaanottavat. Heikot hapot protolysoituvat vain osittain. Huomaa, että moniarvoiset hapot ovat kunkin luovutettavan protonin suhteen erivahvuisia ja jokaiselle protoninsiirtoreaktiolle on oma tasapainovakion arvo. Esimerkiksi rikkihapoke

H_2SO_3 on ensimmäisen protonin suhteen suhteellisen vahva, mutta toisen protonin suhteen heikko.

$$H_2SO_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HSO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \quad K_a = 1{,}3 \cdot 10^{-2}$$

$$HSO_3^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons SO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq) \quad K_a = 6{,}2 \cdot 10^{-8}$$

Vahva emäs, esimerkiksi natriumhydroksidi, dissosioituu lähes kokonaan vedessä, ja emäsliuokseen muodostuu hydroksidi-ioneja.

$NaOH(s) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$

Hydroksidi-ioneja muodostuu myös esimerkiksi kalsiumoksidin liuetessa veteen.

$CaO(s) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + O^{2-}(aq)$

$O^{2-}(aq) + H_2O(l) \rightarrow 2\ OH^-(aq)$

Heikolla emäksellä dissosioituminen tapahtuu vain osittain. Esimerkiksi ammoniakin NH_3 ja veden reaktiossa tasapaino on selvästi lähtöaineiden puolella, sillä ammoniakki on heikko emäs. Vain osa ammoniakkimolekyyleistä siis vastaanottaa vetyionin vedeltä.

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

Happovakio ja emäsvakio

Laimeassa liuoksessa tapahtuvan heikon hapon protolyysireaktion

$$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

tasapainovakio on muotoa

$$K = \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[HA] \cdot [H_2O]}.$$

Laimeissa liuoksissa vettä on ylimäärin, joten tasapainovakion lauseke voidaan kirjoittaa muotoon

$$K_a = K \cdot [H_2O] = \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[HA]}.$$

Vastaavasti laimeassa heikon emäksen vesiliuoksessa tapahtuvalla protolyysireaktiolla

$$B(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons BH^+(aq) + OH^-(aq)$$

emäsvakio on muotoa

$$K_b = K \cdot [H_2O] = \frac{[BH^+] \cdot [OH^-]}{[B]}.$$

Pieni K_a- tai K_b-arvo viittaa heikkoon happoon tai emäkseen. Mitä heikompi happo on kyseessä, sitä vähemmän se luovuttaa protoneja vedelle ja sitä vähemmän muodostuu oksoniumioneja. Mitä heikompi emäs on kyseessä, sitä vähemmän se vastaanottaa protoneja vedeltä ja sitä vähemmän liuokseen muodostuu hydroksidi-ioneja.

Veden autoprotolyysin tasapainovakio eli veden ionitulo K_w

K_w riippuu lämpötilasta.

Jos kaksi vesimolekyyliä reagoivat toistensa kanssa siten, että toinen toimii emäksenä ja toinen happona, syntyy oksoniumioni ja hydroksidi-ioni. Tällaista reaktiota kutsutaan veden autoprotolyysiksi. Reaktion tasapainovakiota kutsutaan veden ionituloksi.

$$2\,H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$$

$$K_w = \left[H_3O^+\right] \cdot \left[OH^-\right]$$

Veden ionitulo

Veden ionitulon arvo lämpötilassa 25 °C on $1{,}008 \cdot 10^{-14}\ (\text{mol/dm}^3)^2$.

$$K_w = K_a \cdot K_b$$

pH-arvon laskeminen

$$pH = -\lg\left[H_3O^+\right]$$
$$\left[H_3O^+\right] = 10^{-pH}$$
$$pOH = -\lg\left[OH^-\right]$$
$$\left[OH^-\right] = 10^{-pOH}$$
$$pH + pOH = 14 \quad (t = 25\,°C)$$

Laskutehtävissä happaman tai emäksisen vesiliuoksen pH lasketaan oksonium- tai hydroksidi-ionikonsentraation avulla. Vahvan hapon tai emäksen pH voidaan laskea suoraan sivun reunassa olevien yhtälöiden avulla. Oletuksena on, että vahva happo tai emäs protolysoituu täydellisesti. Heikon hapon ($K_a < 1$) tai heikon emäksen ($K_b < 1$) pH-laskuissa pitää ensin laskea H_3O^+- tai OH^--ionin tasapainokonsentraatio. Tasapainokonsentraatio saadaan hapon tai emäksen alkukonsentraation ja happo- tai emäsvakion avulla.

Happovakioita

ESIMERKKI

Heikon hapon pH-arvon laskeminen

Laske 0,20 M etikkahapon pH.

Ratkaisu

Etikkahappo on heikko happo, jonka happovakio $K_a = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol/dm^3.
Reaktioyhtälön

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

tasapainovakio laimealle happoliuokselle on

$$K_a = \frac{\left[H_3O^+\right] \cdot \left[CH_3COO^-\right]}{\left[CH_3COOH\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Merkitään oksoniumionikonsentraatiota x:llä ja tehdään taulukko:

	$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$			
Alussa	0,20	–	0	0
Muutos	$-x$	–	$+x$	$+x$
Tasapainossa	$0{,}20 - x$	–	x	x

Sijoitetaan taulukon arvot tasapainovakion lausekkeeseen
(yksiköt jätetty pois ratkaisun helpottamiseksi):

$$K_a = \frac{x \cdot x}{0{,}20 - x} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

Ratkaistaan

$$x^2 = 1{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot (0{,}20 - x)$$

$$x^2 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot x - 0{,}20 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-5} = 0$$

Sijoitus toisen asteen yhtälön ratkaisukaavaan:

$$x = \frac{-1{,}8 \cdot 10^{-5} \pm \sqrt{\left(1{,}8 \cdot 10^{-5}\right)^2 - 4 \cdot 1 \cdot \left(-0{,}36 \cdot 10^{-5}\right)}}{2 \cdot 1}$$

$$x_1 = 0{,}0018884 = \left[H_3O^+\right]$$

$x_2 = -0{,}0019064$ (negatiivinen juuri ei käy, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen)

Vastaus: 0,20 M etikkahappoliuoksen $\text{pH} = -\lg(0{,}0018884) \approx 2{,}72$.

Koska kyseessä on heikko happo, voidaan olettaa, että sen konsentraation muutos x on paljon pienempi kuin 0,20, joten lauseke voitaisiin myös sieventää muotoon

$$K_a = \frac{x^2}{0{,}20} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}.$$

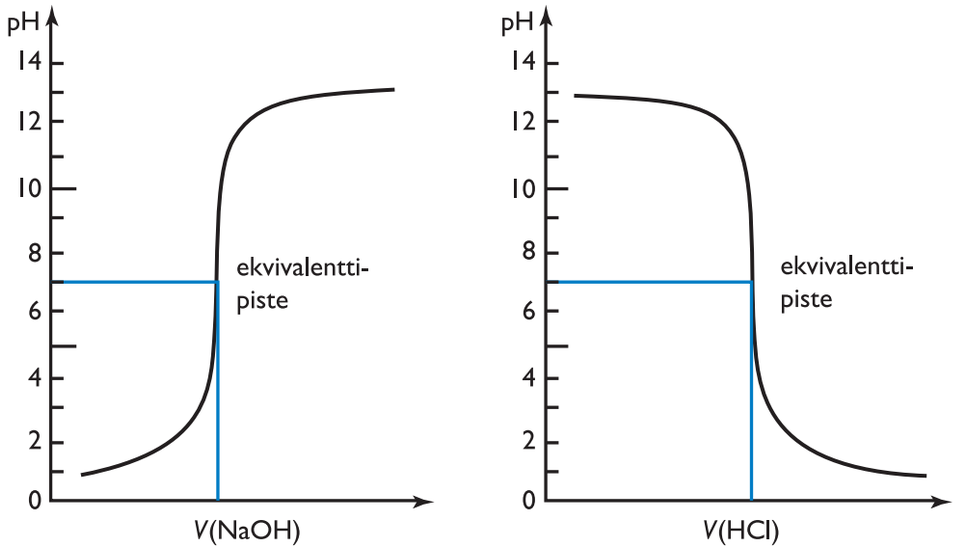
Tehty oletus täytyy kuitenkin osoittaa oikeaksi laskun lopussa.

Indikaattorit ovat heikkoja happoja tai emäksiä, joilla on eriväriset happo- ja emäsmuodot.

Happo-emästitraus

Veden autoprotolyysin käänteisreaktiota kutsutaan neutraloitumiseksi. Neutraloitumisessa oksoniumioni ja hydroksidi-ioni reagoivat keskenään tuottaen kaksi vesimolekyyliä. Neutraloitaessa happoa emäksellä tai päinvastoin syntyy aina suolaa.

Happo-emästitrauksella voidaan määrittää hapon tai emäksen konsentraatio kvantitatiivisesti. Happo-emästitrauksessa oksonium- ja hydroksidi-ionit reagoivat tuottaen vettä. Tutkittava näyte (happo tai emäs) laitetaan erlenmayeriin tai keitinlasiin, johon lisätään indikaattoria. Titrantti (emäs tai happo) laitetaan byrettiin, mittapipettiin tai automaattititraattoriin, joista voidaan lukea liuoksen kulutus. Ekvivalenttikohta on kohta, jossa kaikki happo tai emäs on neutraloitu. Liuoksen pH muuttuu voimakkaasti lähellä ekvivalenttikohtaa. pH:n muuttumista seurataan indikaattorin ja pH-mittarin avulla. Indikaattori on valittava siten, että se vaihtaa väriä ekvivalenttikohdassa. Titrausta jatketaan niin kauan, kunnes pH-arvo ei enää juurikaan muutu. Titrantin kulutuksen ja pH-arvojen avulla voidaan piirtää titrauskäyrät.

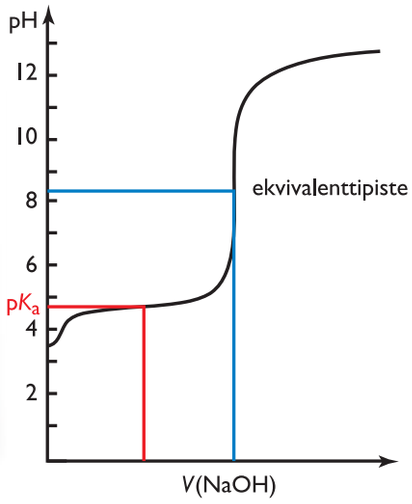


Kuvassa vahvan hapon titraaminen vahvalla emäksellä (vasemmalla) ja vahvan emäksen titraaminen vahvalla hapolla (oikealla).

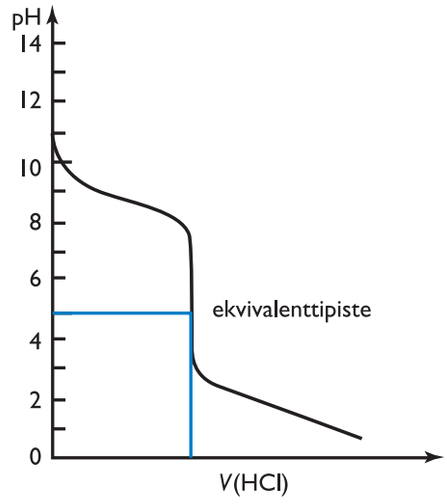
Yhteenveto happo-emästitrauksista

Happo + emäs	Liuoksen pH ekvivalenttikohdassa
vahva happo + vahva emäs	neutraali
heikko happo + vahva emäs	emäksinen
vahva happo + heikko emäs	hapan
heikko happo + heikko emäs	neutraali

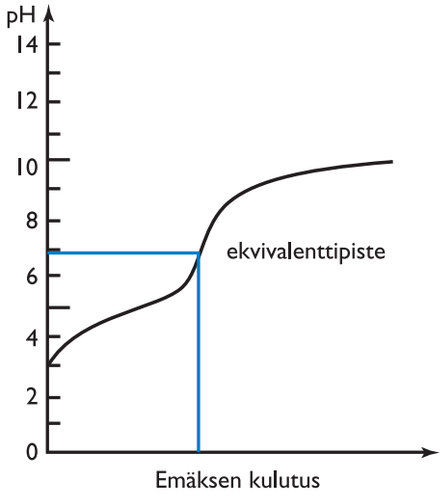
Viereiseen kuvaan on merkitty heikon hapon happovakion arvo pK_a. Aluetta, jossa pH muuttuu hitaasti, sanotaan puskurialueeksi. pK_a-arvon kohdalla hapon konsentraatio on yhtä suuri kuin anionin konsentraatio, [HA] = [A^-] ja liuoksen puskurikyky on suurin.



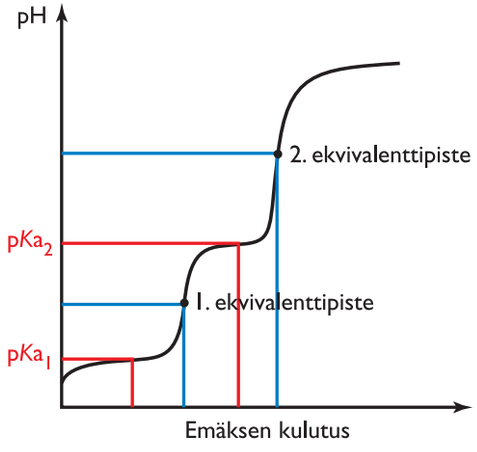
Heikon hapon titraus vahvalla emäksellä. Huomaa, että ekvivalenttikohdassa pH > 7.



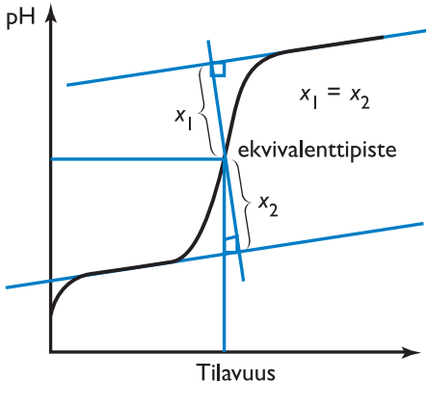
Heikon emäksen titraus vahvalla hapolla. Huomaa, että ekvivalenttikohdassa pH < 7.



Heikon hapon titraus heikolla emäksellä. Ekvivalenttikohdassa pH = 7, mutta titrauskäyrä on paljon loivempi kuin muissa tapauksissa.



Moniarvoisen hapon titraus.



Ekvivalenttipisteen graafinen määritys.

Puskuriliuokset

Joidenkin liuosten pH ei sanottavasti muutu, vaikka liuokseen lisättäisiin happoa tai emästä. Liuoksia, jotka vastustavat pH:n muutoksia, sanotaan puskuriliuoksiksi. Puskuriliuos sisältää heikkoa happoa (tai emästä) ja sen suolaa. Esimerkiksi asetaattipuskurissa on etikkahappoa CH_3COOH ja natriumasetaattia CH_3COONa. Kun etikkahappo ja asetaatti-ionit reagoivat toistensa kanssa, ne vaihtavat keskenään protoneja. Jos liuokseen lisätään happoa, asetaatti-ionit reagoivat oksoniumionien kanssa. Jos liuokseen lisätään emästä, hydroksidi-ionit reagoivat etikkahapon kanssa. Hapon tai emäksen lisääminen ei aiheuta suurta muutosta liuoksen happamuuteen. Esimerkkejä puskuriliuoksista ovat veri ja maito.

Puskuriliuoksen pH

Jos puskuriliuoksessa on yhtä paljon heikkoa happoa HA ja sen suolaa A^-, on liuoksen pH yhtä suuri kuin hapon pK_a-arvo.

$$pK_a = -\lg\left[H_3O^+\right] = pH$$

Jos liuokseen lisätään pieni määrä happoa tai emästä, hapon ja sen suolan suhde muuttuu. Oksoniumionikonsentraatio voidaan ratkaista happovakion lausekkeesta:

$$K_a = \frac{\left[H_3O^+\right]\cdot\left[A^-\right]}{\left[HA\right]}$$

$$\left[H_3O^+\right] = K_a \cdot \frac{\left[HA\right]}{\left[A^-\right]}$$

Jos yllä olevasta lausekkeesta otetaan logaritmi, saadaan Henderson-Hasselbalch-yhtälö:

$$pH = pK_a + \lg\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]}$$

Henderson-Hasselbalch-yhtälö on voimassa puskurialueella $pK_a \pm 1$. Puskuriliuoksen puskurikyky on parhaimmillaan, kun

$$\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]} = 1 \text{ eli } pH = pK_a.$$

Valmistettaessa puskuriliuosta pyritään valitsemaan happo siten, että sen pK_a-arvo on lähellä liuoksen pH-arvoa.

Henderson-Hasselbalchin yhtälön johtaminen edellyttää logaritmilaskusääntöjen osaamista.

$$K_a = \frac{\left[A^-\right]\cdot\left[H_3O^+\right]}{\left[HA\right]}$$

$$\underbrace{-\lg K_a}_{pK_a} = -\lg\frac{\left[A^-\right]\cdot\left[H_3O^+\right]}{\left[HA\right]}$$

$$pK_a = -\left\{\lg\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]} + \lg\left[H_3O^+\right]\right\}$$

$$pK_a = -\lg\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]} \underbrace{-\lg\left[H_3O^+\right]}_{pH}$$

$$pH = pK_a + \lg\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]}$$

TEHTÄVIÄ

75. a) Johda veden ionitulon K_w lauseke.
b) Etikkahapon happovakion arvo $K_a = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol/dm^3. Kuinka suuri on asetaatti-ionin emäsvakion (K_b) arvo 25 °C:ssa?

76. a) Laske 0,01 M suolahapon pH.
b) Laske 0,01 M etikkahapon pH.
c) Laske 0,005 M $Ca(OH)_2$-liuoksen pH.
d) Laske 0,01 M NH_3-liuoksen pH.

77. Päättele, onko seuraavien suolaliuosten pH hapan, neutraali vai emäksinen. Perustele vastauksesi.
a) KCl
b) NaOH
c) NaF
d) NH_4Cl

78. Opiskelijan tehtävänä oli määrittää tuntemattoman NaOH-liuoksen konsentraatio. Opiskelija mittasi täyspipetillä 5,00 ml NaOH-liuosta keittopulloon, laittoi liuokseen indikaattoria ja titrasi liuoksen 0,100 M suolahapolla. Suolahappoa lisättäessä pH muuttui seuraavasti:

V(ml)	pH
0,00	1,00
1,00	1,15
2,00	1,35
3,00	1,57
4,00	1,90
4,90	3,00
5,00	4,25
5,10	7,00
5,20	11,00
6,00	11,94
7,00	12,10
8,00	12,28
9,00	12,42
10,00	12,50

a) Kirjoita titrauksessa tapahtuvan neutraloitumisen reaktioyhtälö.
b) Piirrä titrauskäyrä.
c) Etsi taulukkokirjasta, mikä tai mitkä indikaattorit sopivat tähän titraukseen.
d) Laske natriumhydroksidiliuoksen konsentraatio.
e) Miksi titrauksessa kannattaa titrata vahvalla hapolla (tai emäksellä)?

79. Muurahaishapon happovakio määritettiin kokeellisesti pH-mittauksen avulla. pH-mittausta varten mitattiin mittapipetillä 1,00 ml väkevää muurahaishappoa HCOOH (tiheys $\rho = 1{,}22$ g/cm^3, moolimassa $M = 46{,}026$ g/mol) 100 ml:n mittapulloon ja täytettiin mittapullo merkkiin asti vedellä. Laimennetun muurahaishappoliuoksen pH-arvoksi mitattiin 2,24.
a) Kirjoita muurahaishapon protolysoitumisreaktio ja reaktion tasapainovakion lauseke.
b) Laske liuotetun hapon massa, ainemäärä ja hapon alkukonsentraatio.
c) Laske liuoksessa olevien oksoniumionien konsentraatio.
d) Laske hapon tasapainokonsentraatio.
e) Laske kokeellinen happovakion arvo.
f) Vertaa saamaasi arvoa kirjallisuusarvoon ($1{,}8 \cdot 10^{-4}$ mol/dm^3). Mistä mahdollinen ero tuloksen ja kirjallisuusarvon välillä voi johtua?

80. Puskuriliuos valmistettiin sekoittamalla 50 ml 0,10 M NH_3-liuosta ja 50 ml 0,050 M HCl-liuosta keskenään. Laske puskuriliuoksen pH. $pK_b = 4{,}75$.

81. Kemisti valmisti 250 ml asetaattipuskuriliuosta. Puskuriliuos on 0,250 M etikkahapon suhteen ja 0,250 M natriumasetaatin suhteen.
a) Laske puskuriliuoksen pH.
b) Liuokseen lisätään 0,0050 mol suolahappoa. Laske liuoksen pH HCl-lisäyksen jälkeen.
c) Liuokseen lisätään 0,0050 mol natriumhydroksidia. Laske liuoksen pH NaOH-lisäyksen jälkeen.

82. Henderson-Hasselbalchin yhtälö on johdettu happovakion yhtälöstä, eli se on happovakion lauseke hieman toisin muotoiltuna:

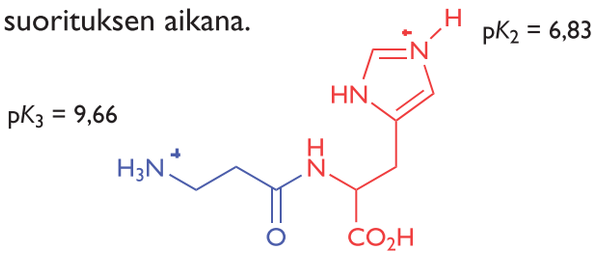
$$pH = pK_a + \lg\frac{[A^-]}{[HA]}$$

Yhtälössä [HA] viittaa hapon ja [A^-] sitä vastaavan emäksen tasapainokonsentraatioon tietyssä pH:ssa. K_a on hapon HA happovakio, ja $pK_a = -\lg K_a$.

Biokemiassa happovakiota käytetään yleensä muodossa pK_a, koska siitä voidaan päätellä, mikä ionimuoto vallitsee elimistössä fysiologisessa pH:ssa 7,4. Niinpä esimerkiksi etikkahappo esiintyy ko. pH:ssa pääasiassa emäsmuodossa $CH_3CO_2^-$. Happomuotoa (CH_3CO_2H) on läsnä vain murto-osa. Yleisesti ottaen karboksyylihappojen pK_a vaihtelee useimmiten välillä 2–5 rakenteen mukaan. Siten karboksyylihapot ovat fysiologisessa pH:ssa negatiivisesti varautuneita (RCO_2^-).

a) Etikkahapon pK_a on 4,7. Laske emäs- ja happomuodon suhde [$CH_3CO_2^-$]/[CH_3CO_2H] pH-arvoissa (i) 1,7, (ii) 2,7, (iii) 3,7, (iv) 4,7, (v) 5,7, (vi) 6,7 ja (vii) 7,7.

b) Karnosiini on β-alaniinista ja histidiinistä koostuva dipeptidi, jolla on elimistössä lukuisia tehtäviä. Yksi tehtävä on toimia solunsisäisenä puskurina. Alla olevassa kuvassa karnosiinin funktionaaliset ryhmät ovat kaikki happomuodossa, ja funktionaalisen ryhmän vieressä on sen pK_a-arvo. Piirrä karnosiinin vallitsevat ionimuodot (2 kpl) fysiologisessa pH:ssa 7,4. Kuvaa reaktioyhtälöllä, miten karnosiini toimii puskurina, kun elimistössä oksoniumionikonsentraatio kasvaa urheilusuorituksen aikana.



karnosiini $pK_1 = 2,77$

83. a) Kirjoita reaktioyhtälöt, kun (i) hiilidioksidi liukenee veteen, (ii) veteen liuennut hiilidioksidi muodostaa hiilihappoa (H_2CO_3) ja (iii) hiilihappo luovuttaa protoninsa vedessä.

b) Hiilihapon $pK_1 = 6,1$ ($t = 37$ °C) ja $pK_2 = 10,2$. Laske suhde HCO_3^-/H_2CO_3 fysiologisessa pH:ssa 7,4. Mikä on pK_a-arvojen perusteella hiilidoksidin pääasiallinen kuljetusmuoto elimistössä?

c) Haima erittää pohjukaissuoleen paitsi entsyymejä myös bikarbonaattia (HCO_3^-), joka neutraloi mahalaukusta tulevaa hapanta ruokasulaa. Kirjoita reaktioyhtälö. Hapon voi merkitä reaktioyhtälöön muodossa $H_3O^+(aq)$.

d) Rasituksessa plasman oksoniumionikonsentraatio kasvaa mm. lisääntyneen maitohappotuotannon ja soluhengityksen myötä. Selitä sanallisesti ja a-kohdan reaktioyhtälöiden avulla, miten plasman bikarbonaatti-ionit (HCO_3^-) ja keuhkotuuletus pyrkivät estämään plasman happamuuden kasvun.

84. Virtsan pH:ksi mitattiin 7,2. Virtsan pH:n puskurointi perustuu osittain fosfaattipuskuriin. Fosforihapon (H_3PO_4) $pK_1 = 2,14$; $pK_2 = 6,86$; $pK_3 = 12,4$.

a) Laske kokonaislukujen tarkkuudella, montako prosenttia fosforihapon ionimuotoja on pH:ssa 7,2.

b) Munuaiset osallistuvat happo-emästasapainon säätelyyn erittämällä vetyioneja (H_3O^+-ioneja) virtsaan. Kuvaa reaktioyhtälöllä, mitä virtsassa tällöin tapahtuu.

YLIOPPILAS- JA PÄÄSYKOETEHTÄVIÄ

85. Selvitä, mitä tarkoitetaan seuraavilla käsitteillä, ja valaise kutakin esimerkillä:
a) emäksinen vesiliuos
b) heikko emäs
c) emäksinen oksidi
d) liuoksen pOH
e) amfolyytti
f) neutraloitumisreaktio.

S-05 tehtävä 1

86. Bariumhydroksidia ja bariumkloridia sisältävä näyte, jonka massa oli 1,6524 g, liuotettiin 100,0 millilitraan 0,200 M suolahappoa. Kun ylimäärä happoa titrattiin NaOH-liuoksella, kulutus oli 10,9 ml. NaOH-liuoksen konsentraation määrittämiseksi 25,0 ml NaOH-liuosta titrattiin samalla suolahappoliuoksella, jolloin sitä kului 28,5 ml. Laske bariumhydroksidin massaprosenttisuus näytteessä.

K-08 tehtävä 2

87. Päättele, ovatko seuraavien aineiden vesiliukset happamia, neutraaleja vai emäksisiä:
a) 0,050 M kalsiumhydroksidi
b) 0,10 M metyyliamiini
c) 0,20 M kaliumkarbonaatti
d) 0,10 M alumiininitraatti
e) 0,10 M natriumbentsoaatti
f) $1{,}0 \cdot 10^{-8}$ M suolahappo.

Perustele valintasi reaktioyhtälöillä.

K-12 tehtävä 3

88. Etikkahappo CH_3COOH on heikko yksiarvoinen happo, jonka happovakio $K_a = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol/l. Kuinka monta prosenttia etikkahaposta dissosioituu, kun 0,10 mol etikkahappoa liuotetaan
a) 1,0 litraan vettä? (2 p.)
b) 1,0 litraan 0,010 M HCl-liuosta. Etikkahappoa lisättäessä liuostilavuuden voidaan katsoa pysyvän muuttumattomana. (4 p.)

K-09 tehtävä 4

89. Yksiarvoista heikkoa happoa titrataan natriumhydroksidilla lämpötilassa 25 °C. Vastaa (oikein/väärin) väitteisiin, joiden mukaan titrauksen ekvivalenttikohdalla on voimassa:
a) happoa ja emästä on lisätty liuokseen tarkalleen yhtä suuret ainemäärät
b) liuos on sähköisesti neutraali
c) liuoksen pH on sama kuin hapon pK_a ($= -\lg K_a$)
d) liuoksen pH = 7,0
e) liuos on puskuriliuos
f) liuoksessa natriumionin ja hydroksidi-ionin konsentraatiot ovat yhtä suuret.

Perustele lyhyesti mahdolliset väärät väittämät.

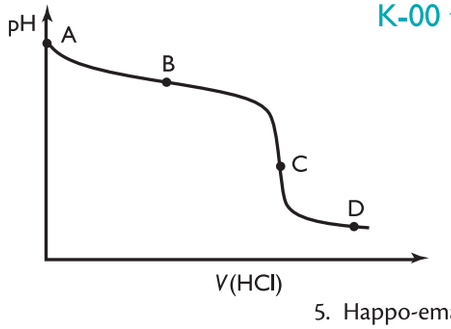
K-05 tehtävä 4

90. a) Tehtävänäsi on valmistaa 1,0 litraa kalsiumhydroksidiliuosta, jonka pH = 12,15. Käytössäsi on kiinteää kalsiumhydroksidia, vaaka, tarpeellinen mittapullo ja vettä. Miten menettelet? (3 p.)
b) 15,0 ml edellä valmistettua liuosta laimennettiin 0,500 litraksi liuosta. Mikä on näin saadun liuoksen pH? (3 p.)

K-07 tehtävä 6

91. Kun ammoniakin vesiliuosta titrattiin suolahapolla, saatiin oheisen kuvan titrauskäyrä. Valitse pisteistä A–D se, jossa
a) ammoniakin konsentraatio on suurin
b) ammoniumionin konsentraatio on suurin
c) liuos on puskuriliuos.
d) Onko liuos pisteessä C hapan, neutraali vai emäksinen? Perustele kussakin tapauksessa vastauksesi.

K-00 tehtävä 7



92. Kun erään yksiarvoisen hapon vesiliuoksesta otettu 25,0 ml:n näyte neutraloitiin 0,10 M NaOH-liuoksella, saatiin oheinen titrauskäyrä.

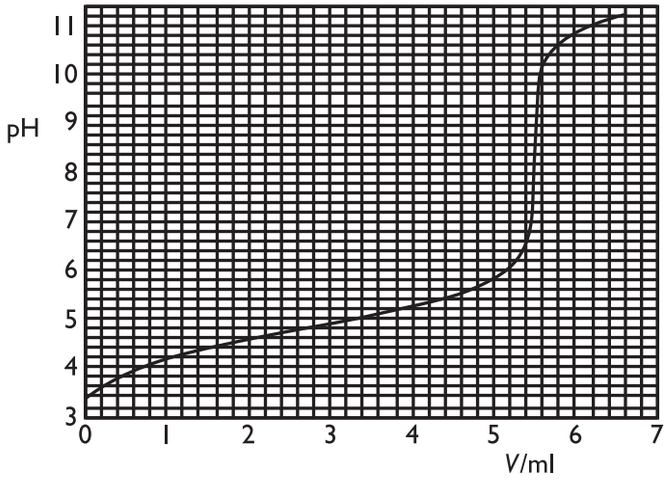
a) Mikä oli hapon konsentraatio alkuperäisessä liuoksessa?

b) Titrauksen päätepiste todettiin suoran pH-mittauksen lisäksi myös happo-emäsindikaattorin avulla. Mihin happo-emäsindikaattorien toiminta perustuu, ja mitä seikkoja tuli ottaa huomioon indikaattorin valinnassa?

c) Määritä hapon happovakion arvo.

d) Työssä käytetty pH-mittari kalibroitiin liuoksella, jonka pH on 4,74. Liuos valmistettiin lisäämällä 0,10 M NaOH-liuosta 20,0 ml:aan 0,10 M etikkahappoa ($K_a = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol/l). Kuinka paljon emäsliuosta tarvittiin?

K-97 tehtävä +8



93. Kaasumaisen, yksiarvoisen hapon tiheys on 1,05 g/dm^3 40 °C:n lämpötilassa ja 101,325 kPa:n paineessa. Kun 1,85 g tätä happoa liuotettiin veteen ja laimennettiin 450 ml:ksi, saatiin liuoksen pH:ksi 5,01.

a) Määritä kyseisen hapon happovakion K_a-arvo.

b) Kuinka monta prosenttia haposta on protolysoitunut (ionisoitunut)?

DI-yhteisvalinta 2012 / kemian koe tehtävä 5

94. Poltettaessa rikkipitoisia polttoaineita, kuten öljyä ja kivihiiltä, vapautuu ilmaan rikkidioksidia. Rikkidioksidi hapettuu ilmassa rikkitrioksidiksi, joka edelleen reagoi veden kanssa muodostaen rikkihappoa. Rikkihappo laskeutuu sateen mukana alas. Vuosien aikana järveen kerääntyneen rikkihapon seurauksena erään järven pH oli laskenut arvoon 5,00. Järven vesi voidaan neutraloida kalsiumhydroksidilla, $Ca(OH)_2$.

a) Kirjoita neutraloitumisreaktio.

b) Kuinka monta kilogrammaa kalsiumhydroksidia tarvitaan järviveden neutraloimiseen, kun järven pinta-ala on 1,5 km^2 ja keskisyvyys 6,0 m? Lämpötila on 25 °C.

DI-yhteisvalinta 2006 / kemian koe tehtävä 2

OSA 2

JAKSO **4**

Orgaaninen kemia

6 Orgaaniset yhdisteet

7 Orgaanisten yhdisteiden reaktioita

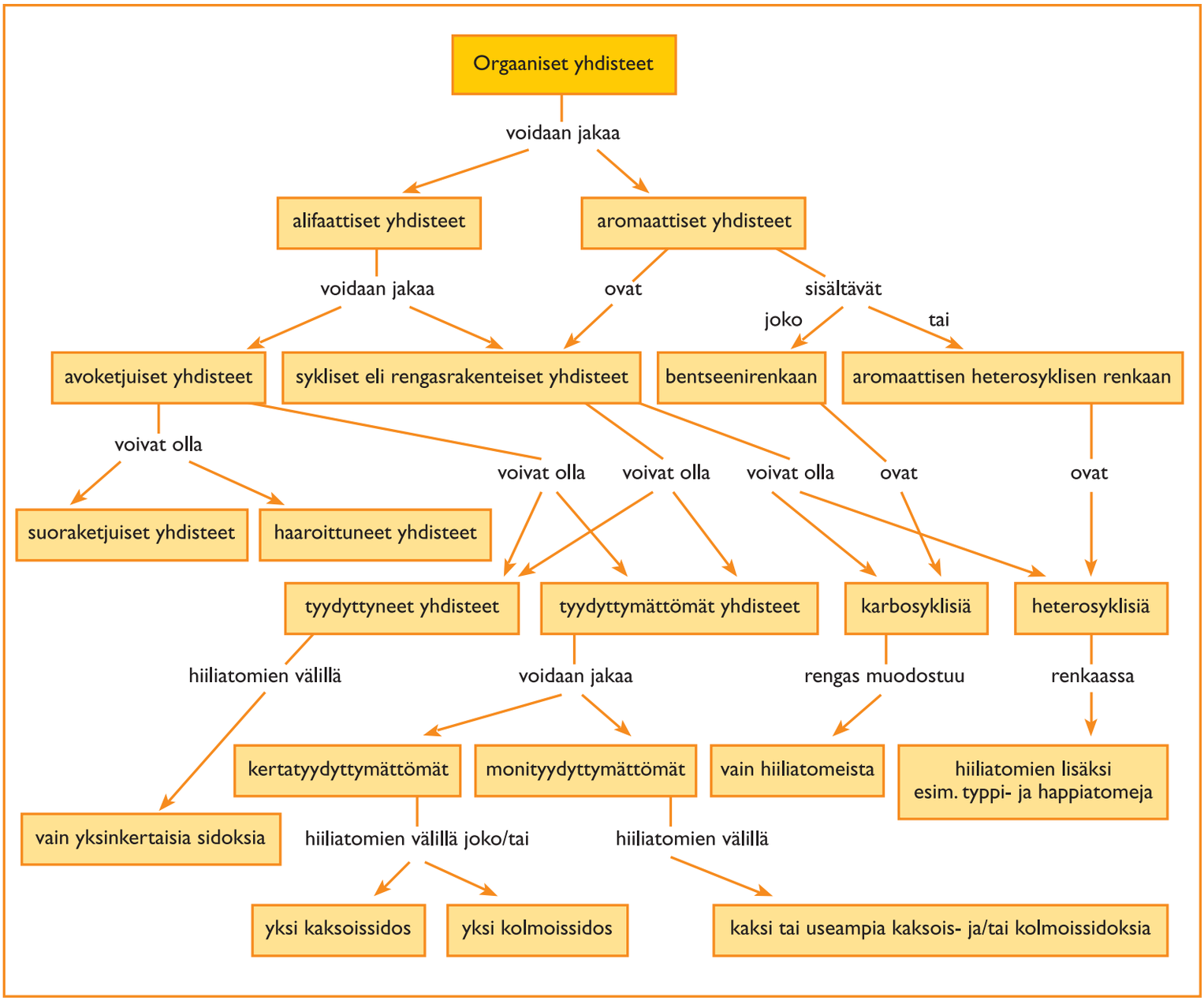
6 Orgaaniset yhdisteet

Orgaanisten yhdisteiden perustana on hiiliatomien muodostama perusrunko, johon mahdolliset toiminnalliset ryhmät liittyvät. Orgaanisen kemian ilmiöiden ymmärtäminen lähteekin liikkeelle molekyylirakenteesta. On tärkeää osata tunnistaa toiminnalliset eli funktionaaliset ryhmät, sillä rakenne määrää yhdisteen ominaisuudet ja reaktiot. Orgaanisia yhdisteitä voidaan piirtää ja mallintaa eri tavoin. Ole tarkkana, kun piirrät eri isomeerisia muotoja, sillä usein kaksi erinäköistä rakennetta kuvaavatkin samaa molekyyliä eri tavoin piirrettynä.

Hiiltä on kaikissa orgaanisissa yhdisteissä

Orgaaniset yhdisteet ovat hiilen yhdisteitä. Lähes kaikki hiilen yhdisteet ovat orgaanisia yhdisteitä, mutta niihin ei luokitella hiilen oksideja (CO_2 ja CO) sekä hiilihappoa ja sen suoloja (H_2CO_3, CO_3^{2-} ja HCO_3^-).

Orgaaniset yhdisteet eivät yleensä kestä korkeita lämpötiloja muuttumatta, ja ne vapauttavat paljon energiaa palamisreaktioissa. Siksi niitä käytetään mm. polttoaineina (erityisesti hiilivedyt ja alkoholit). Orgaaniset yhdisteet ovat yleensä molekyyliyhdisteitä. Ne koostuvat epämetalliatomeista, jotka muodostavat molekyylejä liittymällä yhteen kovalenttisin sidoksin. Pienimolekyylisiä orgaanisia yhdisteitä käytetään liuottimina. Monet orgaaniset yhdisteet eivät liukene veteen.



Orgaanisten yhdisteiden tyypillisimmät kovalenttiset sidokset ja niiden poolisuus (ks. s. 19–20)

Orgaanisten yhdisteiden tyypillisimmät sidokset	Elektronegatiivisuusero	Sidoksen poolisuus
C–C, C=C, C≡C	2,5 – 2,5 = 0	pooliton
C–H	2,5 – 2,1 = 0,4	heikosti poolinen
C=O, C–O	3,5 – 2,5 = 1,0	poolinen
O–H	3,5 – 2,1 = 1,4	vahvasti poolinen
C–N, C=N, C≡N	3,0 – 2,5 = 0,5	heikosti poolinen
N–H	3,0 – 2,1 = 0,9	poolinen

Molekyylin muodon mallintaminen ja hybridisaatio

Molekyylien mallinnuksessa käytetään hyväksi erilaisia teorioita, joiden avulla saadaan muodostettua kuva molekyylin muodosta ja sidosten suuntautumisesta.

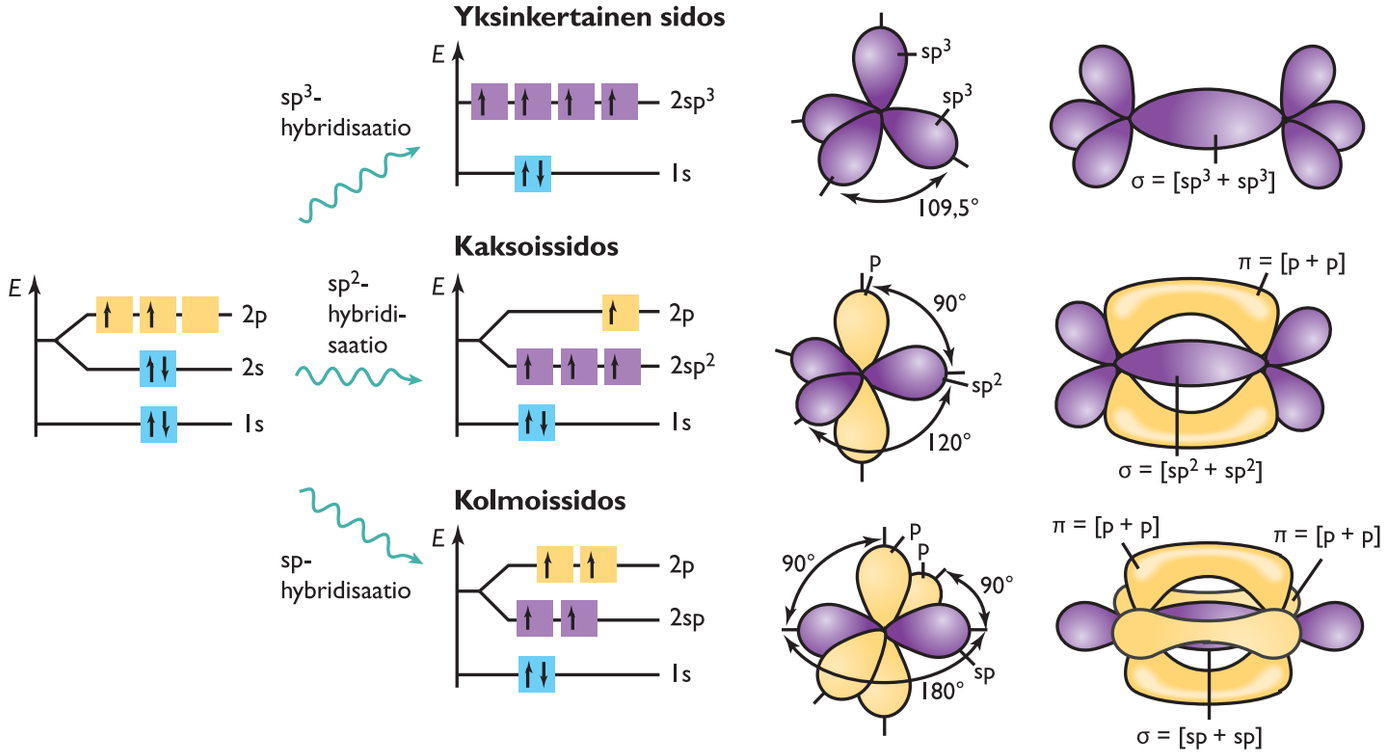
- Minimienergiaperiaatteen mukaan elektroni asettuu aina alimpaan mahdolliseen energiatilaan.
- Pääryhmien alkuaineiden atomit pyrkivät oktettisäännön mukaiseen uloimman energiatason elektronirakenteeseen eli kahdeksan ulkoelektronin rakenteeseen (s^2p^6). Muita pysyviä rakenteita ovat muun muassa uloimman energiatason täys- tai puolimiehitys.
- Molekyyliorbitaaliteorian mukaan molekyylin muodostuessa atomiorbitaalit sulautuvat yhteen ja muodostavat yhteisen molekyyliorbitaalin.
- VSEPR-teoria (valence shell electron pair repulsion) soveltuu erityisesti pienille molekyyleille. Sen mukaan molekyylien vapaat (sitoutumattomat) elektroniparit ja atomien yhteiset sidoselektroniparit hylkivät kaikki toisiaan ja suuntautuvat siksi avaruudellisesti mahdollisimman kauas toisistaan.
- Hybridisaatioteorian mukaan molekyylin muodostuessa atomiorbitaalit sekoittuvat ja samanlaistuvat hybridiorbitaaleiksi. Hybridisaatiomalli toimii erityisen hyvin hiiliyhdisteillä ja pienimolekyylisillä yhdisteillä.

Hiiliatomien välisten sidosten mallintaminen

Kovalenttisidosten pituuksia ja sidosenergioita

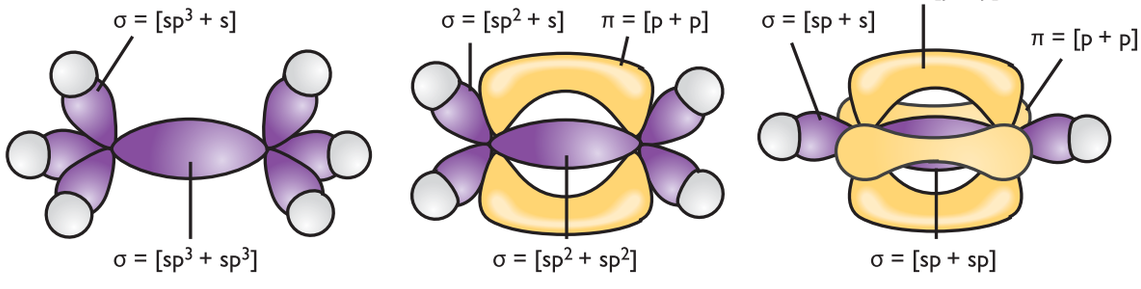
Molekyyliorbitaalimallin mukaan sigmasidos (σ-sidos) muodostuu kahden orbitaalin sulautuessa yhteen lineaarisesti atomiytimien välissä. Yksittäinen sigmasidos voi kiertyä. Sigmasidos voi syntyä eri hybridiorbitaalien tai hybridiorbitaalin ja vetyatomin 1s-orbitaalin välille.

Piisidos (π-sidos) muodostuu sigmasidoksen ympärille, kun kahden p-orbitaalin elektronit levittäytyvät sigmasidoksen ympärille eli sulautuvat yhteen sivuttain. Piisidos estää sidoksen kiertymistä, eli sidos, joka muodostuu sigmasidoksen lisäksi yhdestä tai kahdesta piisidoksesta (kaksois- tai kolmoissidos), on jäykkä.

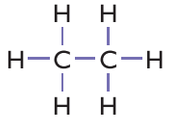


Hiiliatomin sidosten muodostuminen hybridisaatiomallin avulla. Hiiliatomin elektronit perustilassaan (ensimmäinen sarake vasemmalta). Violetilla merkityt orbitaalit ovat hybridisoituneet (toinen ja kolmas sarake vasemmalta). Kahden hiiliatomin sitoutuessa toisiinsa kohdakkain olevat orbitaalit sulautuvat yhteen (neljäs sarake vasemmalta).

Etaanin, eteenin, etyynin ja bentseenin sidosten mallintaminen.



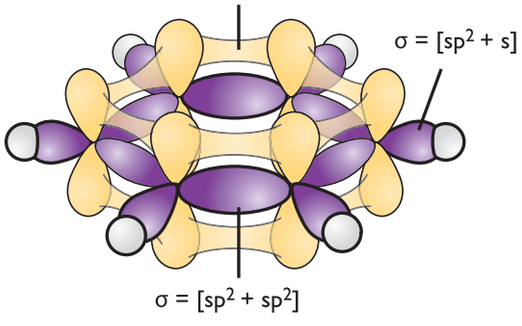
Etaani



Eteeni

Etyyni

Koko renkaan yhteinen π-sidos
π = [p + p + p + p + p + p]



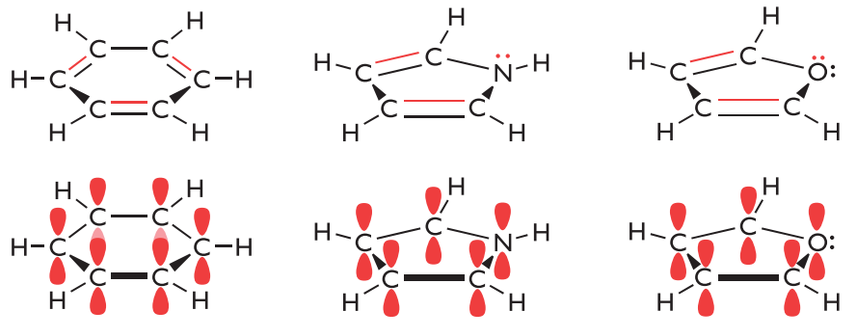
Bentseeni

Delokalisoitumista tapahtuu myös mm. yhdisteillä, joilla on konjugoituneita kaksoissidoksia (joka toinen hiiliatomien välinen sidos kaksoissidos ja joka toinen yksinkertainen sidos). Nämä yhdisteet eivät kuitenkaan ole aromaattisia yhdisteitä.

Aromaattiset yhdisteet

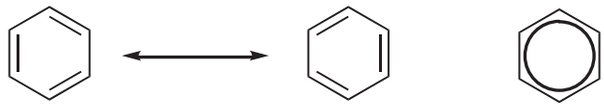
Aromaattiset yhdisteet sisältävät bentseenirenkaan tai heterosyklisen renkaan, jolla on aromaattista luonnetta. Renkaan atomien p-orbitaalit yhdistyvät koko renkaan yhteiseksi molekyyliorbitaaliksi. Tämän molekyyliorbitaalin elektronit ovat delokalisoituneet, eli ne kuuluvat kaikille renkaan atomeille. Aromaattisilla yhdisteillä on yleensä kuusi delokalisoitunutta elektronia.

Bentseenirenkaan kaikki kuusi hiiliatomien välistä sidosta ovat keskenään samanlaisia, ja niillä on osittainen kaksoissidosluonne. Myös aromaattisen heterosyklisen renkaan muodostavilla sidoksilla on osittainen kaksoissidosluonne.



bentseeni pyrroli furaani

Bentseeni, pyrroli ja furaani ovat aromaattisia yhdisteitä. Aromaattisilla yhdisteillä on kaikilla kuusi delokalisoitunutta elektronia (kuvassa punaisella). Pyrrolilla typen ja furaanilla hapen vapaa elektronipari kuuluu renkaan delokalisoituneisiin elektroneihin. Siten ne eivät ole käytössä esim. protonin vastaanottamiseen, eli ne eivät voi toimia emäksinä. Furaanin happiatomin toinen vapaa elektronipari sen sijaan asettuu renkaan ulkopuolelle.



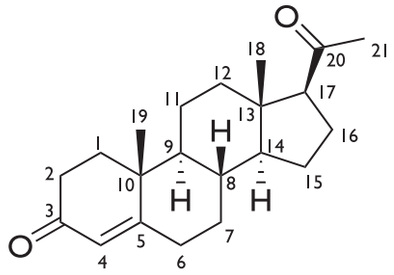
A B C

Delokalisoituneita elektroneja ei pystytä kuvaamaan rakennekaavoilla. Delokalisaatiota kuvattaessa piirretään useita rajarakenteita, ja todellinen rakenne on jossain kohtaa näiden rakenteiden välissä. Kuvassa on esimerkkinä bentseeni, jonka rajarakenteet (A ja B) erotetaan toisistaan kuvassa esitetyllä nuolella. Kyseessä ei ole tasapaino, eli todellisia rakenteita on vain yksi. Bentseenin todellista rakennetta kuvataan toisinaan rakenteella C. Ks. myös s. 146, otsonin rajarakenteet.

ESIMERKKI

Molekyylikaava ja sidosten hybridisaatio

Keltarauhashormoni, progesteroni, on naissukupuolihormoni. Sitä muodostuu keltarauhasessa ja istukassa. Yhdessä estrogeenin kanssa progesteroni muokkaa muun muassa kohdun limakalvon raskauden aikana sikiön kasvulle sopivaksi. Progesteronimolekyylissä on 21 hiiliatomia.



a) Kirjoita progesteronin molekyylikaava.
b) Mihin yhdisteryhmiin progesteroni voidaan toiminnallisten ryhmien perusteella luokitella?
c) Merkitse kaikkien progesteronin hiiliatomien hybridisaatiotyypit.
d) Mitä sidostyyppejä (σ- ja π-sidos) on hiiliatomien 1 ja 2 sekä hiiliatomien 4 ja 5 välillä?
e) Kumpi d-kohdan sidoksista on lyhyempi?

Ratkaisu

a) Progesteronin molekyylikaava on $C_{21}H_{30}O_2$.

b) Progesteroni voidaan luokitella ketoneihin, sillä siinä on kaksi ketoryhmää, sekä rengasrakenteisiin yhdisteisiin. Progesteronimolekyylissä on myös hiiliatomien välinen kaksoissidos, joten se on tyydyttymätön yhdiste.

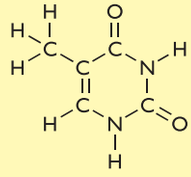
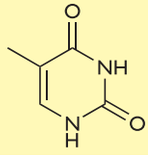
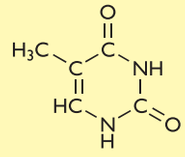
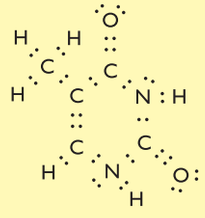
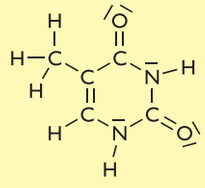
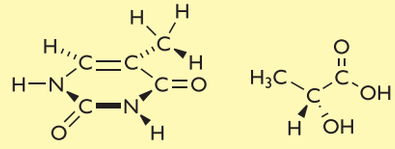
c) Hiiliatomit 1, 2, 6–19 ja 21 ovat sp^3-hybridisoituneita. Hiiliatomit 3, 4, 5, ja 20 ovat sp^2-hybridisoituneita.

d) Hiiliatomien 1 ja 2 välillä on yksi sigmasidos (σ-sidos). Hiiliatomien 4 ja 5 välillä on yksi sigma- ja yksi piisidos (σ- ja π-sidos).

e) Yksinkertaiset sidokset ovat pidempiä kuin kaksoissidos, eli kaksoissidos (sidos hiiliatomien 4 ja 5 välillä) on lyhyempi sidos.

Orgaanisten yhdisteiden kaavat

– Orgaanisten yhdisteiden kaavassa atomit ovat seuraavassa järjestyksessä: C, H ja muut alkuaineet aakkosjärjestyksessä.
– Hiilivetyjen homologiset sarjat (yleiset kaavat) ovat alkaaneilla C_nH_{2n+2}, alkeeneilla C_nH_{2n}, ja alkyyneillä C_nH_{2n-2}.

Malli	Esimerkki	Mallin kuvaus
Suhdekaava eli empiirinen kaava	$(C_2H_5)_n$ tai C_2H_5	Ilmaisee atomien lukumääräsuhteen yhdessä yhdisteen rakenneosassa.
Molekyylikaava	$C_5H_6N_2O_2$	Ilmaisee atomien lukumäärät yhdessä yhdisteen rakenneosassa.
Rakennekaava – Ilmaisee atomien lukumäärät ja miten atomit ovat sitoutuneet toisiinsa.	Täydellinen rakennekaava 	Kaikki sidokset on piirretty näkyviin.
	Viiva- eli tikkukaava 	Viivan päässä tai kulmassa on hiiliatomi. Hiiliatomit ja niihin liittyvät vetyatomit jätetään piirtämättä. Muihin kuin hiiliatomeihin liittyvät vetyatomit piirretään näkyviin sidosviivan kanssa tai ilman sitä.
	Tiivistetty rakennekaava 	Vetyatomit merkitään ilman sidosviivaa ja vetyatomien lukumäärä merkitään alaindeksinä. Vapaita elektronipareja ei piirretä näkyviin.
	Lewisin rakennekaava 	Jokainen sidoselektronipari ja heteroatomien (muut kuin C tai H) uloimman elektronikuoren elektronit kuvataan kaksoispisteellä.
	Kekulén rakennekaava 	Kaikki elektroniparit kuvataan viivoilla.
	Kolmiulotteinen rakennekaava 	Tasosta ulospäin suuntaavat sidokset kuvataan levennettynä viivana ja tason sisäänpäin suuntaavat sidokset katkoviivalla.

ESIMERKKI

Molekyylin mallintaminen

Ksyleeni on maaöljystä saatava raaka-aine. Se on hiilivety, jota käytetään mm. liuottimena. Ksyleenissä on 90,5 % hiiltä.

a) Laske ksyleenin suhdekaava.
b) Määritä ksyleenin molekyylikaava, kun tiedetään, että ksyleeni on aromaattinen hiilivety.
c) Piirrä ksyleenin jokin mahdollinen rakennekaava kolmiulotteisena.

Ratkaisu

a) Lasketaan ksyleenin sisältämän hiilen ja vedyn ainemäärät. Jos otetaan 100 g ksyleeniä, se sisältää 90,5 g hiiltä ja 9,5 g vetyä (ksyleeni on hiilivety, joten se ei sisällä hiilen ja vedyn lisäksi muita alkuaineita). Lasketaan näiden massojen perusteella ksyleenin sisältämien alkuaineiden ainemäärät.

$$n(\mathrm{C}) = \frac{m}{M} = \frac{90{,}5\ \mathrm{g}}{12{,}01\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 7{,}535387\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{H}) = \frac{m}{M} = \frac{9{,}5\ \mathrm{g}}{1{,}008\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 9{,}42460\ \mathrm{mol}$$

Lasketaan hiilen ja vedyn ainemäärien suhde.

$$\frac{n(\mathrm{C})}{n(\mathrm{H})} = \frac{7{,}535387\ \mathrm{mol}}{9{,}42460\ \mathrm{mol}}$$

$$\frac{n(\mathrm{C})}{n(\mathrm{H})} \approx \frac{1}{1{,}25}$$

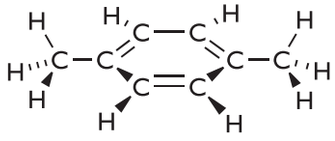
$$\frac{n(\mathrm{C})}{n(\mathrm{H})} \approx \frac{4}{5}$$

Ksyleenin suhdekaava on siis $(C_4H_5)_n$.

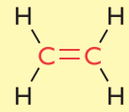
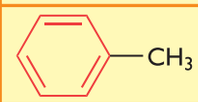
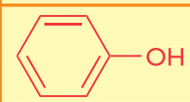
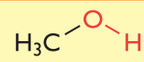
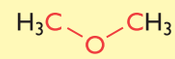
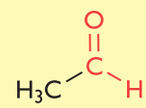
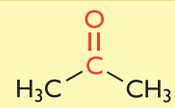
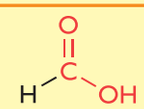
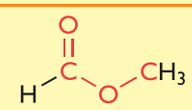
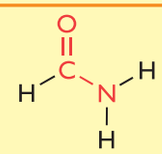
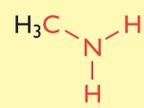
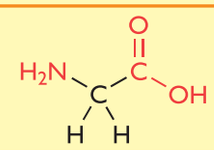
Huom! Ainemäärien suhteita laskettaessa on varottava liian epätarkkojen arvojen pyöristämistä. Kuten tässäkin laskussa huomaamme $7{,}535 : 9{,}425 \neq 8 : 9$ ja $1 : 1{,}25 \neq 1 : 1$.

b) Koska ksyleeni on aromaattinen hiilivety, se sisältää ainakin yhden bentseenirenkaan eli siinä täytyy olla vähintään kuusi hiiliatomia. Yksi mahdollinen molekyylikaava on siis $(C_4H_5)_2$ eli C_8H_{10}. Koska hiilivedyissä ei voi olla koskaan paritonta määrää vetyatomeja, n ei voi olla kolme. Jos n on neljä, kuusi tai sitä enemmän, vetyatomien määrä suhteessa hiiliatomien määrään kasvaa suuremmaksi kuin alkaaneilla, joilla vetyatomien määrä on suhteessa kaikkein suurin, joten kyseiset rakenteet eivät ole mahdollisia. Näin ollen ainoa mahdollinen molekyylikaava on C_8H_{10}.

c) Ksyleenin bentseenirenkaaseen liittyneet atomit ovat kaikki samassa tasossa. Renkaaseen liittyy kaksi metyyliryhmää, joilla on tetraedrinen rakenne. Metyyliryhmät voivat sijaita renkaan eri kohdissa.



Orgaaniset yhdistetyypit ja niiden toiminnalliset ryhmät

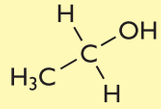
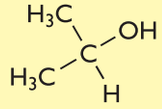
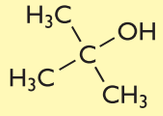
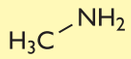
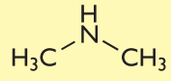
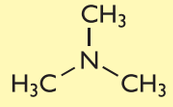
Yhdisteryhmä	Toiminnallinen ryhmä tai muu tunniste	Nimen perusosan loppu	Esimerkki	
Alkaani	Hiilivety, jonka ketjussa vain yksinkertaisia sidoksia; ei toiminnallista ryhmää.	-aani	etaani	H_3C-CH_3
Alkeeni	Hiilivety, jonka ketjussa yksi hiiliatomien välinen kaksoissidos.	-eeni	eteeni	
Alkyyni	Hiilivety, jonka ketjussa yksi hiiliatomien välinen kolmoissidos.	-yyni	etyyni	$H-C\equiv C-H$
Aromaattinen yhdiste	Bentseenirengas (tai heterosyklinen aromaattinen rengas).	-bentseeni	metyylibentseeni (tolueeni)	
Fenoli	Hydroksyyliryhmä liittynyt suoraan bentseenirenkaaseen.	-fenoli	fenoli	
Alkoholi	Hydroksyyliryhmä, joka kiinni sp^3-hiiliatomissa.	-oli	metanoli	
Eetteri	Eetterihappi (R^1–O–R^2).	-eetteri	dimetyylieetteri	
Aldehydi	Aldehydiryhmä eli karbonyyliryhmä hiiliketjun päässä.	-aali	etanaali (asetaldehydi)	
Ketoni	Ketoryhmä eli karbonyyliryhmä hiiliketjun keskellä.	-oni	propan-2-oni (asetoni)	
Karboksyylihappo	Karboksyyliryhmä.	-happo	metaanihappo (muurahaishappo)	
Esteri	Esteriryhmä.	-aatti, -esteri	metyylimetanaatti (metaanihapon metyyliesteri)	
Amidi*	Amidiryhmä.	-amidi	metaaniamidi	
Amiini	Aminoryhmä ($R-NH_2$, R^1-NH-R^2, $R^1-\overset{R^2}{\overset{\vert}{N}}-R^3$).	-amiini	metyyliamiini	
Aminohappo	Karboksyyliryhmä ja aminoryhmä.	-happo	aminoetaanihappo (glysiini)	

*) Aminohappojen välistä amidiryhmää sanotaan myös peptidisidokseksi.

Orgaanista yhdistettä ei saa luokitella alkaaniksi, alkeeniksi tai alkyyniksi, jos se sisältää muutakin kuin hiiltä ja vetyä.

Hiiliatomien välisten sidosten perusteella hiiliketjut voidaan luokitella tyydyttyneisiin (vain yksinkertaisia C–C-sidoksia) ja tyydyttymättömiin (sisältää C=C- ja C≡C-sidoksia). Bentseenirengasta ei aina lasketa tyydyttymättömiin yhdisteisiin renkaan erityisen luonteen takia (katso esim. YO S-06 tehtävä 1).

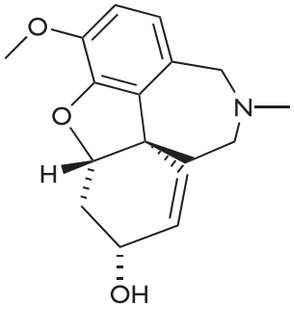
Primääriset, sekundääriset ja tertiääriset rakenteet

Luokittelu	Primäärinen	Sekundäärinen	Tertiäärinen
Alkoholit	Hiiliatomissa –OH-ryhmän lisäksi kaksi vetyatomia ja yksi hiiliatomi. 	Hiiliatomissa –OH-ryhmän lisäksi yksi vetyatomi ja kaksi hiiliatomia. 	Hiiliatomiin liittyy –OH-ryhmän lisäksi kolme hiiliatomia. 
Amiinit	Typpiatomiin liittynyt kaksi vetyatomia ja hiiliatomi. 	Typpiatomiin liittynyt yksi vetyatomi ja kaksi hiiliatomia. 	Typpiatomiin liittyy kolme hiiliatomia. 

ESIMERKKI

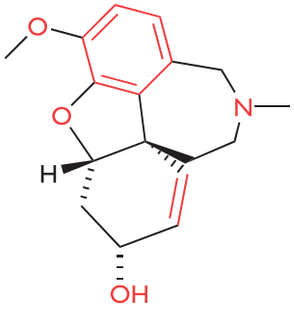
Toiminnalliset ryhmät

Galantamiini on kasvialkaloidi, jota on muun muassa lumikelloissa ja narsisseissa. Lääkkeenä sitä käytetään Alzheimerin taudin hoitoon. Mitä toiminnallisia ryhmiä on galantamiinissa?



Ratkaisu

Galantamiinissa on kaksi eetterihappea, tertiäärinen aminoryhmä, sekundäärinen hydroksyyliryhmä, hiiliatomien välinen kaksoissidos sekä bentseenirengas.



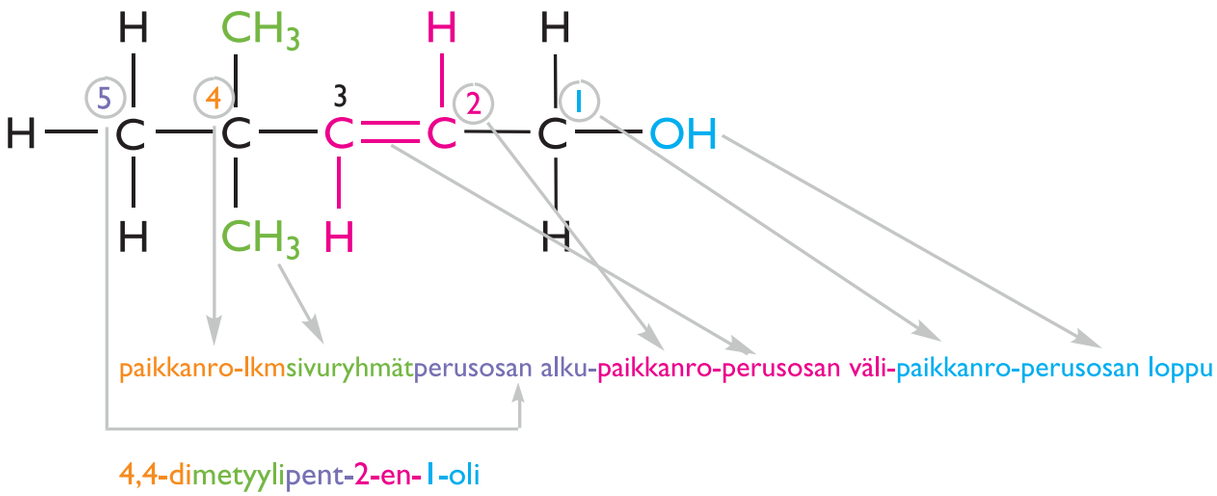
IUPACin nykyisen suosituksen mukaan funktionaalisen ryhmän paikkanumero laitetaan ennen funktionaalista ryhmää ilmaisevaa päätettä: esimerkiksi but-1-eeni on suositeltavampi nimi kuin 1-buteeni.

Huom! Jos toiminnallisia ryhmiä on useita, perusosan pääte määräytyy merkitsevimmän ryhmän mukaan. Merkitsevyysjärjestys: –COOH > –C=O > –OH > N–H > halogeeni > $–NO_2$

Jos yhdisteessä on kaksois- tai kolmoissidoksia, toiminnallinen ryhmä ilmoitetaan ennen perusosan loppua ja kaksois- tai kolmoissidoksen paikka perusosan alun jälkeen.

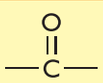
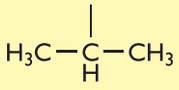
Orgaanisten yhdisteiden nimeäminen

1. Etsitään hiiliatomien muodostama pisin yhtenäinen ketju, joka sisältää mahdollisen toiminnallisen ryhmän, ja nimetään hiiliatomien lukumäärän mukaan nimen perusosan alku (met-, et-, prop-, pent- jne.).
2. Nimetään toiminnallisen ryhmän mukaan perusosan loppu (-oli, -happo jne.).
3. Nimetään hiiliatomien välisten sidosten mukaan perusosan väli (-an-, -en-, -yn- tai -aani-, -eeni-, -yyni-).
4. Numeroidaan hiilirunko siten, että toiminnalliselle ryhmälle annetaan ensisijaisesti mahdollisimman pieni numero ja sen lisäksi sivuryhmille mahdollisimman pienet numerot.
5. Lisätään muut toiminnalliset ryhmät ja sivuryhmät aakkosjärjestyksessä (ks. sivuryhmien taulukko) perusosan eteen.
6. Ilmoitetaan samat sivuryhmät etuliitteellä (di-, tri- jne.).
7. Ilmoitetaan jokaisen sivuryhmän paikka erikseen.



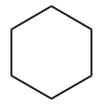
Orgaanisten yhdisteiden nimeämisessä käytettävät nimen osat

Perusketjun hiiliatomien määrä	Nimen perusosan alku
1	met-
2	et-
3	prop-
4	but-
5	pent-
6	heks-
7	hept-
8	okt-
9	non-
10	dek-
11	undek-
12	dodek-
13	tridek-
14	tetradek-
15	pentadek-
16	heksadek-
17	heptadek-
18	oktadek-
19	nonadek-
20	(e)ikos-

Sivuryhmät	
$-NH_2$	amino
$-CH_3$	metyyli
$-C_2H_5$	etyyli
$-NO_2$	nitro
$-Cl$	kloori
$-Br$	bromi
$-I$	jodi
$-F$	fluori
$-CH=CH_2$	vinyyli
$-OH$	hydroksi
	okso
$-O-CH_3$	metoksi
$-O-C_2H_5$	etoksi
C_6H_5-	fenyyli
	isopropyyli

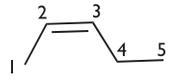
Nimeämisen erikoisuuksia

– Rengasrakenteet ilmaistaan syklo-etuliitteellä.

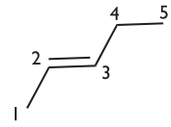


sykloheksaani

– *Cis-* ja *trans*-isomeerit erotetaan vastaavilla etuliitteillä.

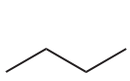


cis-pent-2-eeni

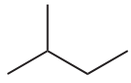


trans-pent-2-eeni

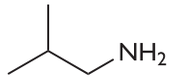
– Suoraketjuiset ja haarautuneet hiilivedyt sekä primääriset ja sekundääriset alkoholit erotetaan etuliitteillä *n-* (suora ketju tai ryhmä ketjun päässä) ja iso- (hiiliketjun pää haarautunut kahdeksi metyyliksi, esim. isopentyyli $(CH_3)_2C(CH_2)_2$–.



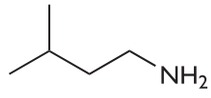
n-butaani



2-metyylibutaani

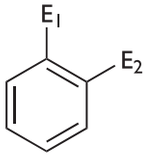


isobutyyliamiini

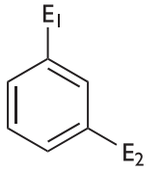


isopentyyliamiini

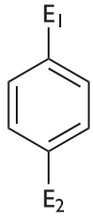
– Bentseenirenkaaseen liittyneiden ryhmien paikat voidaan ilmaista *orto-, meta-* ja *para*-alkuliitteillä (tai *o-*, *m-* ja *p-*).



orto-

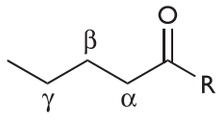


meta-

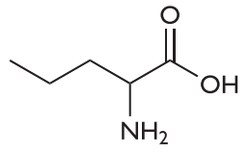


para-

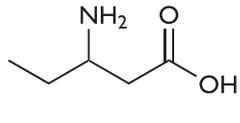
– Karbonyyliyhdisteillä substituentin paikka voidaan merkitä karbonyyliryhmästä alkaen kreikkalaisilla aakkosilla (α, β, γ jne.), esimerkiksi aminohappojen aminoryhmät.



R = molekyylin loppuosa



α-aminohappo



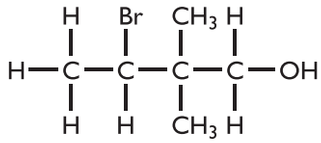
β-aminohappo

ESIMERKKI

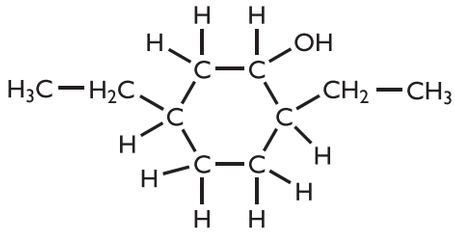
Orgaanisten yhdisteiden nimeäminen

Nimeä yhdisteet.

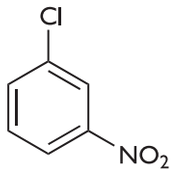
a)



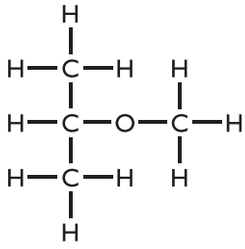
b)



c)



d)



Ratkaisu

a) Pisin hiiliatomien muodostama ketju sisältää neljä hiiliatomia ja nimen perusosaksi tulee -butan-. Nimen pääte tulee –OH-ryhmästä eli kyseessä on alkoholi. Koska hydroksyyliryhmä on ketjun päässä, kyseessä on -butan-1-oli. Lisäksi ketjuun on liittynyt kaksi metyyliryhmää toiseen hiiliatomiin ja bromiatomi kolmanteen hiiliatomiin (laskeminen aloitetaan hydroksyyliryhmän päästä). Nämä kirjoitetaan nimeen aakkosjärjestyksessä eli ensin bromi, sitten metyyliryhmät. Metyyliryhmien määrä lisätään metyylin eteen di-alkuliitteellä. Yhdiste on siis 3-bromi-2,2-dimetyylibutan-1-oli.

b) Koska kyseessä on rengasrakenteinen yhdiste, nimen perusosa tulee kuuden hiiliatomin muodostamasta renkaasta, jossa on vain yksinkertaisia sidoksia (-heksan-). Renkaaseen on liittynyt hydroksyyliryhmä eli kyseessä on alkoholi ja rungon numerointi aloitetaan siitä hiilestä (-heksan-1-oli). Renkaaseen on liittynyt myös kaksi kahden hiilen muodostamaa hiilivetyryhmää (etyyliryhmää) toiseen ja viidenteen hiiliatomiin. Yhdiste on siis 2,5-dietyylisykloheksan-1-oli.

c) Yhdisteessä on bentseenirengas, johon on liittynyt nitroryhmä $–NO_2$ ja klooriatomi. Aloitetaan numerointi siitä hiiliatomista, johon klooriatomi on liittynyt. Näin ollen yhdiste on nimeltään 1-kloori-3-nitrobentseeni.

d) Yhdisteessä on eetterihappi eli nimen päätteenä on -eetteri. Eetterihappeen liittyneet ryhmät lisätään nimen alkuun. Koska kolmen hiiliatomin muodostama ketju on liittynyt happiatomiin keskimmäisestä hiiliatomista, ryhmän nimenä on isopropyyli-. Toinen liittynyt ryhmä on metyyliryhmä, joten yhdiste on isopropyylimetyylieetteri.

ESIMERKKI

Orgaanisten yhdisteiden rakennekaavojen piirtäminen

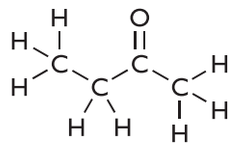
Laadi rakennekaavat seuraaville yhdisteille:

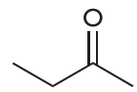
a) butan-2-oni
b) 1,3-dihydroksibentseeni
c) penta-1,4-dieeni (tai 1,4-pentadieeni)
d) etyylimetyyliamiini
e) sykloheksseeni
f) *cis*-2,3-dibromibut-2-eeni (tai *cis*-2,3-dibromi-2-buteeni).

Ratkaisu

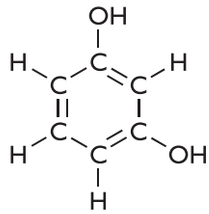
Vastauksessa on kuvattu täydellinen rakennekaava ja viivakaava. Kumpikin hyväksytään vastaukseksi.

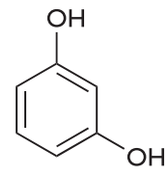
a)



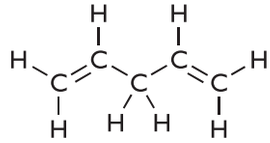


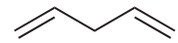
b)



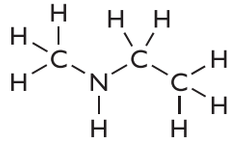


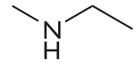
c)



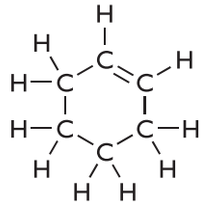


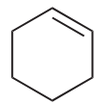
d)



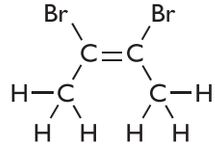


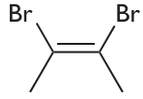
e)





f)

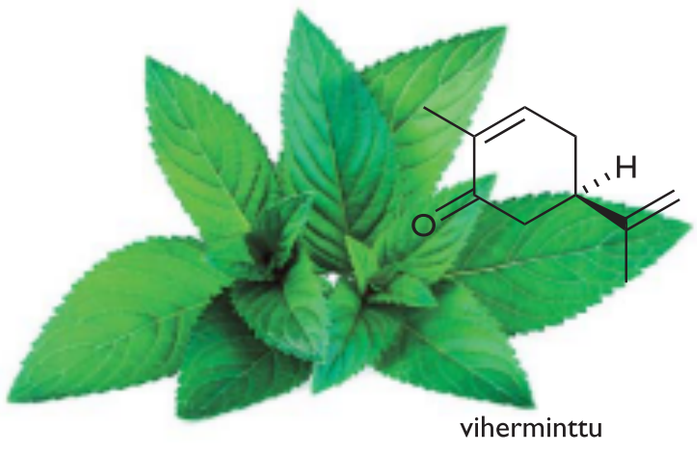




Isomeria

Yhdisteet, joilla on sama molekyylikaava, mutta erilainen rakenne, ovat toistensa isomeereja.

- Konformaatioisomeriaa ei yleensä huomioida, jos pyydetään piirtämään eri isomeerejä, sillä sen muotoja on valtavasti.
- Peilikuvaisomeerejä kutsutaan enantiomeereiksi.
- Kiraliakeskusten (asymmetriakeskusten) perusteella stereoisomeerejä on maksimissaan 2^n, missä n on kiraliakeskusten määrä.
- Enantiomeerit ovat optisesti aktiivisia, eli ne muuttavat tasopolaroidun valon värähtelytasoa eri suuntiin.
- Jos molempia enantiomeerejä on yhtä paljon, seos on rasemaatti (raseeminen seos).

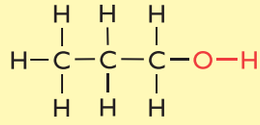
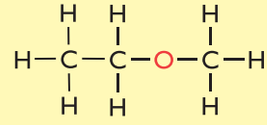
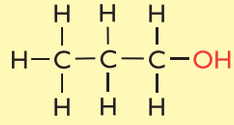
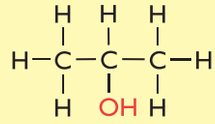
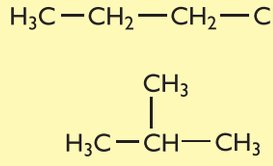
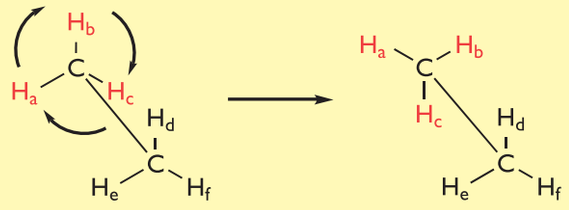
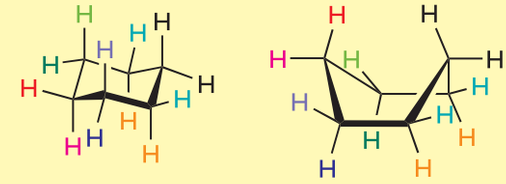
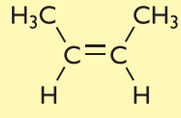
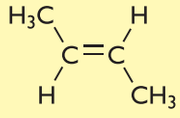
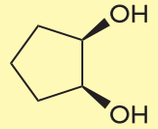
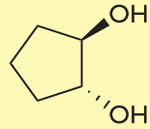
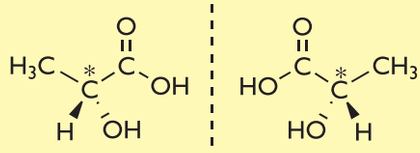


viherminttu

kumina

Karvonin enantiomeerit. Vasemmanpuoleinen enantiomeeri tuoksuu vihermintulta ja oikeanpuoleinen kuminalta.

Isomerian lajit luokiteltuina

Isomerian laji		Erot isomeereissä	Rakenteellinen edellytys	Esimerkkiyhdisteet
Rakenne- eli konstituutioisomeria	Funktio- eli yhdistetyyppisomeria	toiminnallinen ryhmä erilainen	toiminnallinen ryhmä	 alkoholi  eetteri
	Paikkaisomeria	toiminnallinen ryhmä sijaitsee eri paikassa	vähintään kolme hiiliatomia	 propan-1-oli  propan-2-oli
	Ketju- eli runkoisomeria	hiiliatomien ketju haarautunut eri tavoin	vähintään kolme hiiliatomia	
Avaruus- eli stereoisomeria	Konformaatioisomeria	yksinkertaisen sidoksen kiertymisestä johtuva erilainen avaruudellinen muoto	vähintään yksi hiiliatomien välinen yksinkertainen sidos	pyörähdys  kohdakkain lomittain  sykloheksaanin tuolimuoto venemuoto
	Cis-trans- eli geometrinen isomeria	*cis*-muodossa ryhmät samalla puolella ja *trans*-muodossa eri puolella kaksoissidosta tai rengasta	hiiliatomien välinen kaksoissidos tai rengasrakenne	 *cis*-but-2-eeni  *trans*-but-2-eeni  *cis*-1,2-syklopentaanidioli  *trans*-1,2-syklopentaanidioli
	Enantiomeria eli peilikuvaisomeria (optinen isomeria)	peilikuvat, erikätiset versiot	hiiliatomi, johon on liittynyt neljä erilaista ryhmää (kiraliakeskus, asymmetrinen hiiliatomi)	 D-maitohappo L-maitohappo

ESIMERKKI

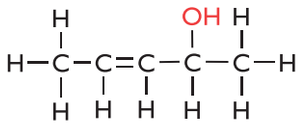
Isomeerit

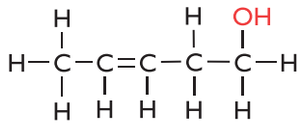
Laadi rakennekaavat (2 kpl) yhdisteille, joiden molekyylikaava on $C_5H_{10}O$ siten, että yhdisteet ovat toistensa

a) paikkaisomeerejä
b) *cis-trans*-isomeerejä
c) enantiomeerejä.

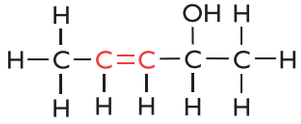
Ratkaisu

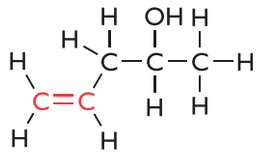
a) Paikkaisomeria tarkoittaa sitä, että kahdella yhdisteellä on toiminnallinen ryhmä eri paikassa hiiliketjua.





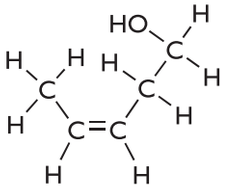
Esimerkki 1. Hydroksyyliryhmän paikka vaihtuu.



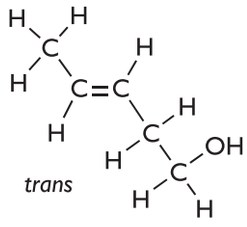


Esimerkki 2. C=C-kaksoissidoksen paikka vaihtuu.

b) *Cis-trans*-isomeriaa esiintyy yhdisteillä, joissa on hiiliatomien välinen kaksoissidos, ja kaksoissidoksen muodostavissa hiiliatomeissa on kaksi keskenään samanlaista ja kaksi niistä poikkeavaa ryhmää.

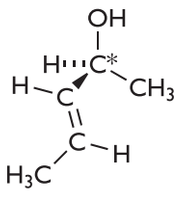


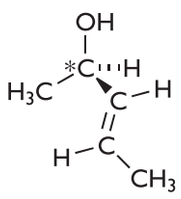
cis



trans

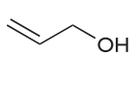
c) Optisesti aktiivisen yhdisteen peilikuvaisomeerejä kutsutaan toistensa enantiomeereiksi. Optisesti aktiivisessa yhdisteessä on asymmetrinen hiiliatomi. Asymmetriseen hiiliatomiin on liittyneenä neljä erilaista atomia tai atomiryhmää.





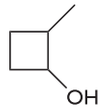
TEHTÄVIÄ

95. Täydennä taulukkoon, mikä tai mitkä seuraavista yhdisteistä A–H sopivat kuvaukseen.

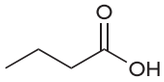


A

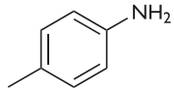
B



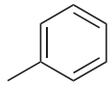
C



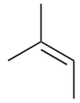
D



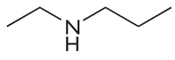
E



F



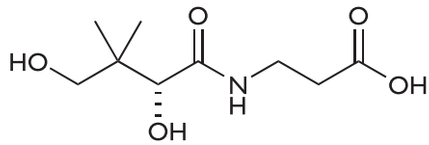
G



H

Tyydyttymätön yhdiste	
Syklinen yhdiste	
Aromaattinen yhdiste	
Sekundäärinen alkoholi	
Primäärinen amiini	
Avoketjuinen hiilivety	

96. B-vitamiinit ovat vesiliukoisia vitamiineja. Niihin kuuluu mm. B_5-vitamiini, joka on pantoteenihappo.



a) Mihin yhdistetyyppeihin pantoteenihappo voidaan toiminnallisten ryhmien perusteella luokitella?
b) Mikä on pantoteenihapon molekyylikaava?
c) Mikä on yhdisteen moolimassa?
d) Onko yhdisteellä peilikuvaisomeereja? Jos on, merkitse kiraliakeskus tai kiraliakeskukset.

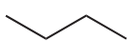
97. Piirrä yhdisteelle, jonka nimi on hept-5-en-2-oli,
a) paikkaisomeeri
b) funktioisomeeri
c) *cis-trans*-isomeerit ja merkitse, kumpi muoto on kyseessä
d) enantiomeerit ja merkitse kiraliakeskukset.

98. Kun 1,2 grammaa alkoholia, jonka moolimassa oli 60 g/mol, poltettiin, syntyi 2,64 g hiilidioksidia ja 1,44 g vettä.
a) Mikä oli alkoholin suhdekaava (empiirinen kaava)?
b) Mikä oli alkoholin molekyylikaava?
c) Piirrä alkoholin kaikki mahdolliset rakennekaavat.

99. Kirjoita yhdisteen C_4H_9Br kaikki isomeerit. Nimeä yhdisteet.

100. Tarkastellaan yhdisteitä, joiden molekyylikaava on C_3H_5COOH.
a) Onko yhdisteissä sp^2-hybridisoituneita hiiliatomeja? Kuinka monta niitä on?
b) Ovatko yhdisteet tyydyttymättömiä hiilivetyjä?
c) Voiko yhdiste olla optisesti aktiivinen? Piirrä yhdisteen mahdolliset rakennekaavat ja perustele vastauksesi.

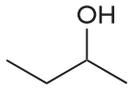
101. Nimeä seuraavat yhdisteet:



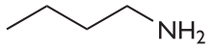
A

B

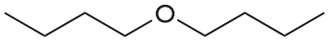
C



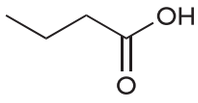
D



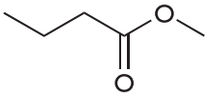
E



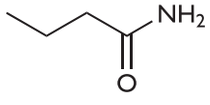
F



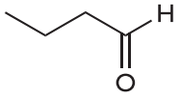
G



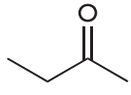
H



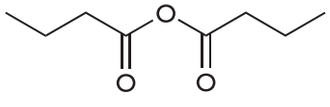
I



J

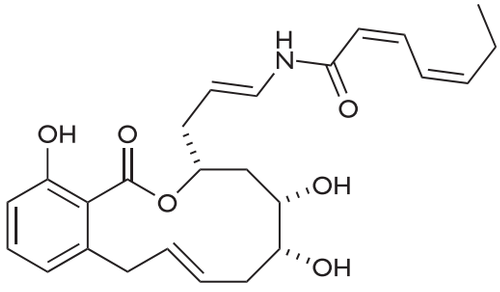


K



L

102. Alla esitetty salisyylihalamidi A on *Haliclona*-suvun merisienen tuottama aineenvaihduntatuote. Sytotoksisten eli soluille myrkyllisten ominaisuuksiensa takia se on potentiaalinen johtolankayhdiste, jota voidaan käyttää syöpälääkkeiden kehittämisessä.



a) Mihin yhdisteryhmiin salisyylihalamidi A kuuluu funktionaalisten ryhmiensä perusteella?
b) Merkitse tähdellä salisyylihalamidi A:n asymmetriakeskukset.
c) Onko yhdisteellä *cis-trans*-isomeriaa?

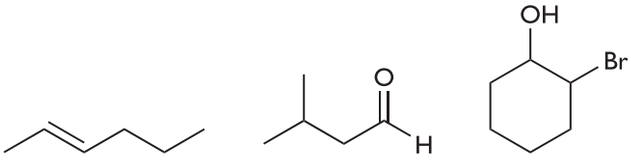
YLIOPPILAS- JA PÄÄSYKOETEHTÄVIÄ

103. Alla on esitetty yhdisteiden A, B ja C rakennekaavat.

a) Nimeä yhdisteet.

b) Millä yhdisteistä voi esiintyä *cis-trans*-isomeriaa? Esitä yhdisteiden *cis*- ja *trans*-muotojen rakennekaavat.

c) Millä yhdisteistä voi esiintyä peilikuva-isomeriaa (optista isomeriaa)? Kopioi yhdisteiden rakennekaavat vastauspaperiisi ja merkitse niihin kiraaliset (asymmetriset) hiiliatomit tähdellä.



A B C

K-13 tehtävä 3

104. Kun eräs amiini reagoi vetykloridin kanssa, syntyy suola, joka sisältää 43,8 massa-% hiiltä, 11,0 massa-% vetyä, 12,9 massa-% typpeä ja loput klooria. Amiinin moolimassa on alle 120 g/mol.

a) Kirjoita reaktioyhtälö.

b) Laadi amiinin rakennekaava, kun tiedetään, että se on optisesti aktiivinen.

S-94 tehtävä 4

105. Laadi rakennekaavat yhdisteille, jotka ovat toistensa

a) paikkaisomeerejä

b) *cis-trans* -isomeerejä

c) optisia isomeerejä

d) konformaatioisomeerejä.

Esitä myös rakennekaava yhdisteelle, joka on rakenteeltaan

e) pooliton

f) tasomainen.

S-95 tehtävä 5

106. Tutki oheista rakennekaavaa.

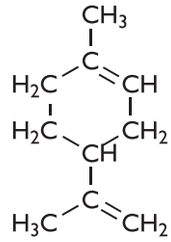
a) Selvitä tarkasti, mihin yhdistetyyppiin aine voidaan luokitella.

b) Päättele, onko hiiliatomien muodostama rengas rakenteeltaan tasomainen vai ei.

Esiintyykö yhdisteellä

c) kaksoissidoksista johtuvaa *cis-trans*-isomeriaa

d) optista aktiivisuutta? Perustele.



S-97 tehtävä 3

107. Hiilivety sisältää 82,7 massaprosenttia hiiltä.

a) Määritä hiilivedyn empiirinen kaava (suhdekaava) ja mahdollinen molekyylikaava.

b) Laadi myös hiilivedyn isomeerien rakennekaavat ja nimeä yhdisteet.

K-03 tehtävä 2

108. Valitse luettelosta kaksi yhdistettä, joilla pätee

a) yhdisteiden molekyylikaava on C_6H_{10}

b) yhdisteissä on viisi CH_2-yksikköä

c) yhdisteet ovat tyydyttyneitä ja syklisiä

d) yhdisteet ovat keskenään isomeereja

e) yhdisteet ovat tyydyttymättömiä

f) yhdisteissä jokin hiiliatomi sitoutuu ainoastaan toisiin hiiliatomeihin.

A. 4-metyylipent-1-yyni

B. 2,3-dimetyylipentaani

C. 3-metyylipent-2-eeni

D. syklopentaani

E. 3-metyylisyklopenteeni

F. etyylisyklopentaani

S-10 tehtävä 1

109. Kun 5,00 g bentseeniä reagoi katalysaattorin läsnäollessa kloorin kanssa, saatiin tuotteeksi aineen A eri isomeerien seos ja 4,67 g vetykloridia. Laadi A:n mahdolliset rakennekaavat. Mitkä näistä isomeereistä ovat poolittomia?

S-91 tehtävä 3

110. Kahvissa ja teessä esiintyvän alkaloidin, kofeiinin moolimassa on 194 g/mol. Kun 0,376 g kofeiinia poltettiin, saatiin tuotteina 0,682 g hiilidioksidia, 0,174 g vettä ja 0,110 g typpeä. Määritä kofeiinin molekyylikaava ja esitä palamisreaktion yhtälö.

K-92 tehtävä 2

111. Rasvoja voimakkaasti kuumennettaessa voi syntyä aldehydejä C_4H_6O ja C_5H_8O. Yhdisteellä C_4H_6O tavataan *cis-trans*-isomeriaa, ja C_5H_8O on optisesti aktiivinen. Laadi molempien aldehydien mahdolliset rakennekaavat.

K-99 tehtävä 4

112. Millä edellytyksillä orgaanisilla yhdisteillä voi esiintyä *cis-trans*-isomeriaa? Esitä rakennekaavat kaikille yhdisteille, joiden molekyylikaava on $C_2H_2Cl_2$. Nimeä yhdisteet. Mitkä näistä yhdisteistä ovat polaarisia? Perustelu.

K-97 tehtävä 5

113. Tarkastellaan yhdisteitä

a) CS_2
b) $CHCl_3$
c) HCN
d) CH_2O.

(Järjestys, jossa alkuaineet on ilmoitettu molekyylikaavassa, ei välttämättä kerro mitään niiden järjestyksestä molekyylissä).

Piirrä ja selitä:

– Yhdisteiden Lewisin kaavat, joissa esität kaikkien atomien kaikki ulkoelektronit erikseen. Käytä eri atomien ulkokuorilta mukaan tuleville elektroneille eri symboleja (×, ○, • tms.).
– Yhdisteiden rakennekaavat, joissa kaikki sidokset ovat näkyvissä.
– Yhdisteiden kunkin keskusatomin (atomien, jotka ovat sitoutuneet useampaan kuin yhteen atomiin) hybridisaatio ja sidosten/elektroniparien geometria.
– Se, onko yhdiste polaarinen vai ei, lyhyesti perustellen.

TY / Terveyden biotieteiden valintakoe 2011 tehtävä 13

114. Muurahaishappo (metaanihappo) muodostaa erään tyydyttyneen yhdenarvoisen alkoholin kanssa esterin, joka sisältää 31,3 massa-% happea. Reaktioyhtälöä voidaan kuvata seuraavasti:

$HCOOH + HOR \rightarrow HCOOR + H_2O$

a) Kirjoita esterin ja alkoholin molekyylikaavat.
b) Piirrä kyseisen alkoholin kaikki mahdolliset täydelliset rakennekaavat.

DI-yhteisvalinta 2012 / kemian koe tehtävä 2

7 Orgaanisten yhdisteiden reaktioita

Lukiokursseissa käsitellään vain kunkin orgaanisen yhdisteryhmän tyypillisimpiä reaktioita. Reaktioita ohjaavat yhdisteiden toiminnalliset ryhmät. Reaktioita tarkasteltaessa onkin tärkeää osata etsiä molekyylien toiminnalliset ryhmät sekä kaksois- ja kolmoissidokset, sillä muutokset tapahtuvat näissä kohdissa. On hyvä muistaa, että orgaanisten yhdisteiden hiiliatomien muodostama perusrunko muuttuu harvoin reaktioissa ja toiminnallisen ryhmän paikka pysyy yleensä muuttumattomana. Samoille yhdisteille voi tapahtua erilaisia reaktioita olosuhteiden mukaan ja yhtä aikaakin, mutta vastauksissa hyväksytään yleensä jokin mahdollisista vaihtoehdoista. Orgaanisia reaktioita ei löydy taulukkokirjasta, joten ne on opeteltava ulkoa.

Reaktiomekanismit

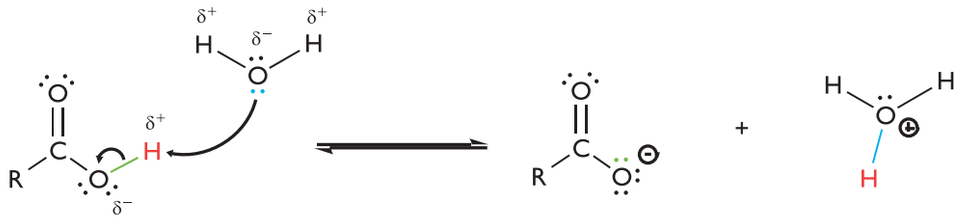
Molekyylien on törmättävä toisiinsa oikeasta suunnasta oikealla nopeudella, jotta reaktio voi tapahtua. Molekyyleissä on kohtia, jotka ovat elektronivajaita tai -rikkaita. Tämä johtuu sidoksen muodostaneiden atomien välisistä elektronegatiivisuuseroista. Esimerkiksi vesimolekyylin happiatomilla on negatiivinen osittaisvaraus (δ^-) ja vetyatomilla positiivinen osittaisvaraus (δ^+), koska happiatomi vetää sidoselektroneja vetyatomia voimakkaammin puoleensa. Kemiallisessa reaktiossa molekyylien elektronirikkaat kohdat pyrkivät reagoimaan elektronivajaiden kohtien kanssa.

Reaktiomekanismi kuvaa yksityiskohtaisesti, miten reaktio tapahtuu. Mekanismista selviävät reaktion eri vaiheet, funktionaalisissa ryhmissä tapahtuvat elektronien siirtymiset, sidosten katkeamiset ja syntymiset sekä väli- ja lopputuotteet.

Elektronien liikkuminen reaktiossa kuvataan kaarinuolten avulla. Ensimmäinen nuoli piirretään aina liikkeelle lähtevien elektronien lähtöpisteestä (elektronirikas alue) kohti saman tai toisen molekyylin elektronivajaata kohtaa.

Tämän liikkeen seurauksena syntyy sidos. Myös katkeavan sidoksen elektronien loppusijoituspaikka on merkittävä näkyviin. Tällöin nuoli piirretään alkamaan keskeltä katkeavaa sidosta, ja nuoli suunnataan kohti atomia, jolle katkeavan sidoksen sidoselektronit siirtyvät. Siten reaktionuolia on aina oltava vähintään kaksi kappaletta.

Karboksyylihapon ja veden välinen protoninsiirtoreaktio voidaan kuvata seuraavasti:



Vesimolekyylin elektronirikas happiatomi hyökkää karboksyylihapon elektronivajaata vetyatomia kohti muodostaen sidoksen (sinisellä merkityt elektronit). Samanaikaisesti sidoksen muodostuessa karboksyylihapon happi- ja vetyatomin välinen sidos (vihreä) katkeaa. Vihreällä merkityt sidoselektronit päätyvät karboksyyliryhmän happiatomille. Kuvassa käytetty kokonuoli kuvaa elektroniparin siirtymistä.

- Ionimekanismissa sidos katkeaa siten, että toinen atomi saa molemmat elektronit ja syntyy kaksi erimerkkistä ionia. Ionimekanismi tapahtuu yleensä silloin, kun katkeava sidos on poolinen.
- Radikaalimekanismissa sidos katkeaa siten, että sidoselektronit jakautuvat tasaisesti hajoamistuotteiden kesken. Radikaalimekanismi on tyypillinen silloin, kun katkeava sidos on pooliton tai heikosti poolinen.
- Radikaalireaktioissa käytetään puolinuolta, ja se kuvaa yhden elektronin siirtymistä.
- Radikaalilla tarkoitetaan atomia, molekyyliä tai ionia, jolla on pariton ulkoelektroni.
- Kahden radikaalin yhtymisen aktivoitumisenergia on erittäin pieni, jopa merkityksetön, joten ne ovat hyvin reaktiivisia.

Yhteenveto erilaisista nuolista:

→	Reaktionuoli (suora) kuvaa reaktion etenemistä. Reaktio tapahtuu vain yhteen suuntaan.
⇌	Molempiin suuntiin piirretty reaktionuoli (suora), jonka toiset sakarat on poistettu, kuvaa tasapainoreaktiota.
↷	Kaareva kokonuoli kuvaa elektroniparin siirtymistä.
↶	Kaareva puolinuoli kuvaa yhden elektronin siirtymistä.
↔	Kaksipäistä nuolta käytetään elektronien delokalisaation yhteydessä kuvaamaan erilaisia rajarakenteita (ks. s. 144). Älä sekoita nuolta tasapainonuoleen.

A

B

Orgaanisilla yhdisteillä reaktiot tapahtuvat joko toiminnallisten ryhmien tai kaksois- ja kolmoissidosten välityksellä.

Kuvan A ensimmäisessä koeputkessa bromiveden $Br_2(aq)$ päälle on lisätty heksaania C_6H_{14}. Vieressä näkyy tilanne koeputkessa sekoittamisen jälkeen. Koska heksaani sisältää vain yksinkertaisia hiiliatomien välisiä sidoksia, se ei reagoi bromiveden kanssa (bromin väri ei häviä), mutta poolittomana aineena se liuottaa vettä paremmin poolittoman bromin.

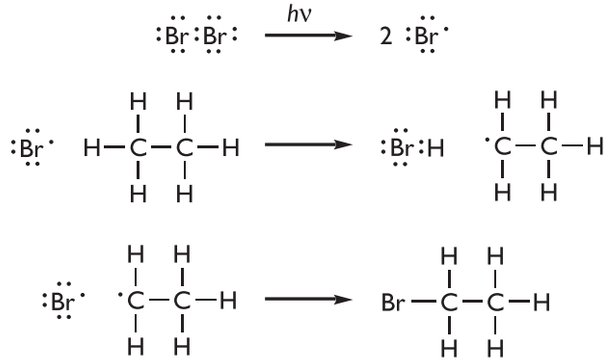
Kuvassa B on samassa koeputkessa bromivettä ja hekseeniä C_6H_{12}. Hekseenin kaksoissidos aukeaa reaktiossa bromin kanssa ja bromiatomit liittyvät kaksoissidoksen molempiin hiiliatomeihin. Tällöin bromin Br_2 väri oranssinruskea väri häviää.

ESIMERKKI

Reaktiomekanismit

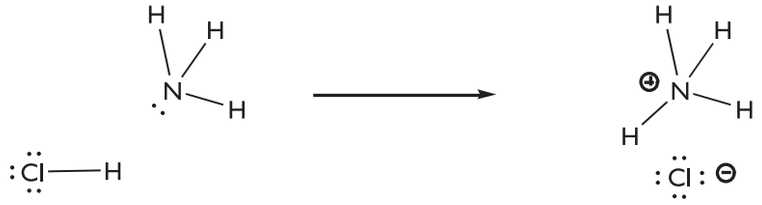
Merkitse alla oleviin reaktioihin reaktionuolet paikalleen. Onko reaktioissa kyse radikaali- vai ionimekanismeista?

a) Etaanin ja bromin välinen korvautumisreaktio:



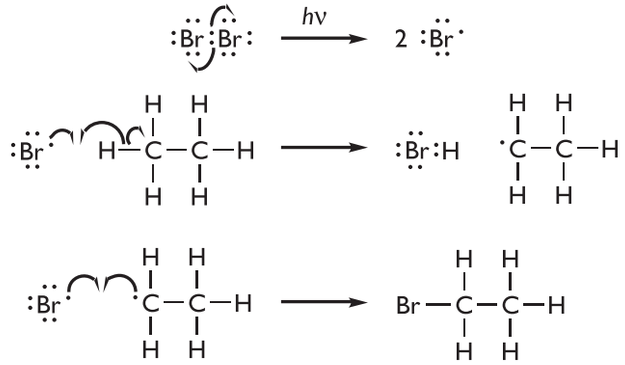
b) Ammoniumkloridin eli salmiakin muodostuminen:

$NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(s)$

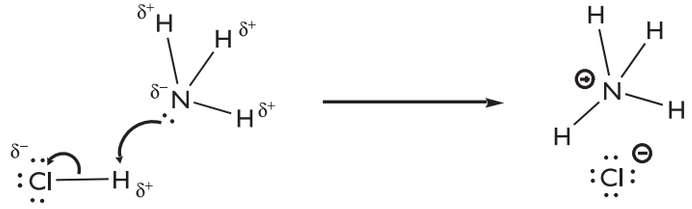


Ratkaisu

a) Kyseessä on radikaalireaktio. UV-valo katalysoi bromimolekyylin hajoamista kahdeksi bromiradikaaliksi. Bromiradikaalit voivat reagoida etaanin kanssa, jolloin syntyy vetybromidia ja etyyliradikaali. Tämän jälkeen reaktio voi edetä monella tavalla. Yksi vaihtoehto on bromi- ja etyyliradikaalien reaktio, jolloin syntyy bromietaania.



b) Ammoniumkloridin eli salmiakin muodostuminen:



Ammoniakki ja suolahappo ovat kaasumaisia yhdisteitä. Näiden reagoidessa syntyy kiinteä ammoniumkloridi, joka saostuu. Reaktio tapahtuu käytännössä vain yhteen suuntaan, ja tästä syystä reaktionuoli on piirretty yhdensuuntaiseksi. Kyseessä on ionimekanismi.

Orgaanisissa reaktioyhtälöissä on käytettävä rakennekaavaa, sillä molekyylikaava ei kerro reaktiosta riittävästi.

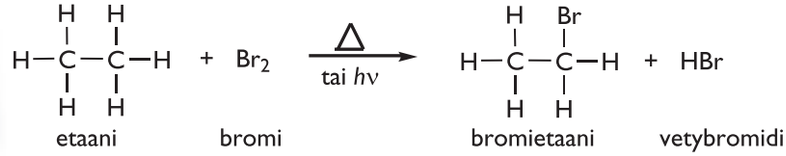
Substituutio- eli korvautumisreaktio

- Tyypillinen mm. tyydyttyneille ja aromaattisille hiilivedyille.
- Reaktiossa yksittäinen atomi tai atomiryhmä korvautuu jollakin toisella atomilla tai atomiryhmällä ja muodostuu sivutuote.
- Erikoisnimityksiä:
  - klooraus eli vetyatomin korvaaminen kloorilla
  - nitraus eli vetyatomin korvaaminen nitroryhmällä $-NO_2$
  - alkylointi eli vetyatomin korvaaminen hiilivetyryhmällä
  - halogenointi eli vetyatomin korvaaminen halogeeniatomilla.

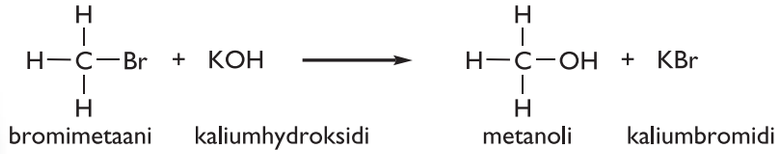
Korvautuminen

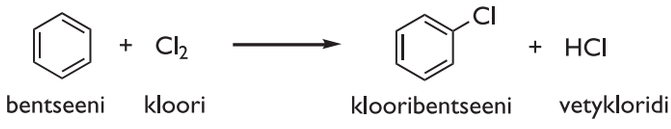
Huom! Alkaanin korvautumisreaktioissa mikä tahansa alkaanin vetyatomi voi korvautua, jolloin syntyy haloalkaanien seos.

Korvautumisreaktioita



Ks. bromimetaanin korvautumisreaktio myös s. 63.



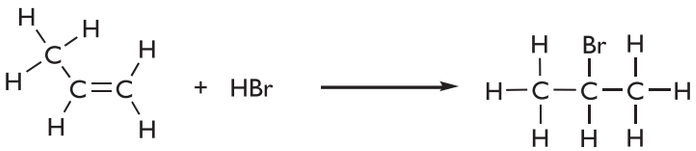


Additio- eli liittymisreaktio

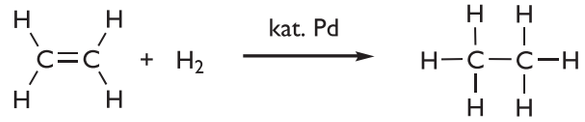
- Tyypillinen tyydyttymättömille yhdisteille.
- Reaktiossa kaksoissidos aukeaa ja yhdisteeseen liittyy kaksi uutta atomia (kolmoissidoksen tapauksessa liittyy neljä uutta atomia).
- Hydraus on erikoisnimitys vedyn H_2 liittämiselle.
- Polyadditiossa molekyylit liittyvät additioreaktioissa toisiinsa muodostaen pitkiä molekyyliketjuja.
- Myös bentseenirenkaan hiiliatomien välisissä sidoksissa voi tapahtua additiota, jolloin bentseenirenkaan aromaattisuus häviää (ei tapahdu yhtä helposti kuin tyydyttymättömille yhdisteille).
- Muista Markovnikovin sääntö eli vetyatomi liittyy siihen hiiliatomiin, jossa on jo ennestään enemmän vetyatomeja.

Markovnikovin sääntö: vety liittyy siihen hiiliatomiin, jossa on jo ennestään enemmän vetyatomeja.

Liittymisreaktioita

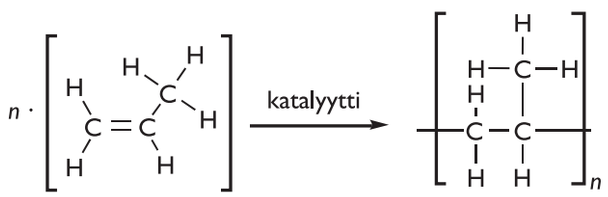


propeeni + vetybromidi → 2-bromipropaani



eteeni + vety → etaani

Polypropeeni on -eeni-päätteestä huolimatta alkaani.



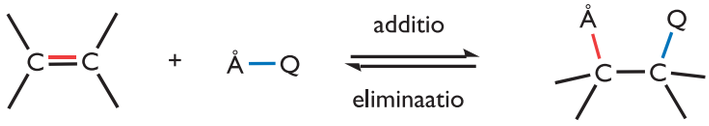
propeeni → polypropeeni

etyyni + kloori → 1,1,2,2-tetrakloorietaani

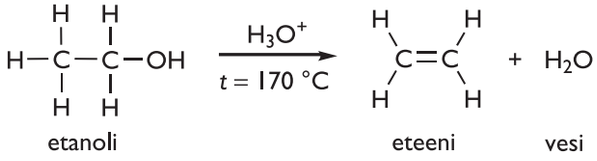
Eliminaatio- eli lohkeamisreaktio

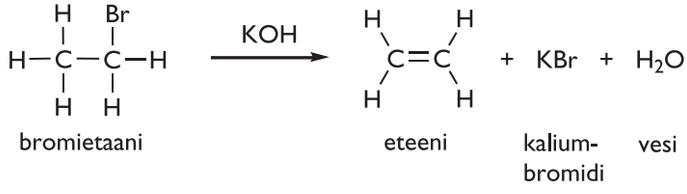
– Addition käänteisreaktio.
– Reaktiossa yhdisteestä lohkeaa pienimolekyylinen yhdiste, kuten vesi H_2O, jolloin yhdisteeseen muodostuu C=C-kaksoissidos.

Additio ja eliminaatio



Eliminaatioreaktioita



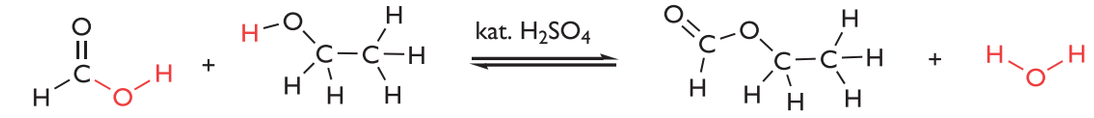


Kondensoituminen (kondensaatioreaktio)

– Kaksi kondensoituvaa ryhmää reagoi keskenään, jolloin kaksi molekyyliä yhdistyy ja välistä lohkeaa jokin pienimolekyylinen yhdiste, kuten vesi H_2O.
– Reaktio on mahdollinen, jos yhdisteessä on esim. –OH-, –COOH- tai $–NH_2$-ryhmä.
– Reaktiotuotteita ovat esterit (–COOH + –OH), eetterit (–OH + –OH), karboksyylihappoanhydridit (–COOH + –COOH) ja amidit (–COOH + $–NH_2$).
– Polykondensaatioreaktion edellytyksenä on, että reagoivissa molekyyleissä on kaksi kondensoituvaa ryhmää.
– Polykondensaatiossa molekyylit liittyvät yhteen pitkiksi molekyyliketjuiksi, kun kondensaatioreaktiot tapahtuvat molekyylien molemmissa päissä.

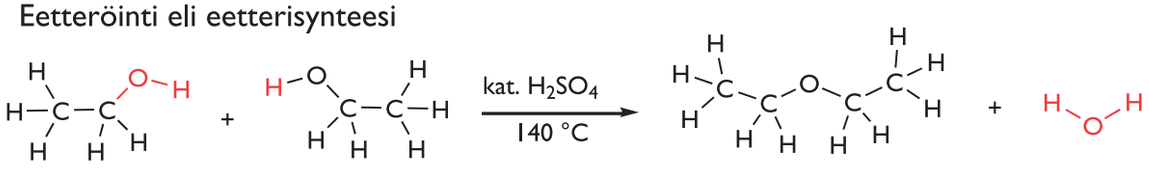
Kondensaatioreaktioita

Esteröinti eli esterisynteesi



muurahaishappo (metaanihappo) + etanoli ⇌ etyyliformiaatti (etyylimetanaatti) + vesi

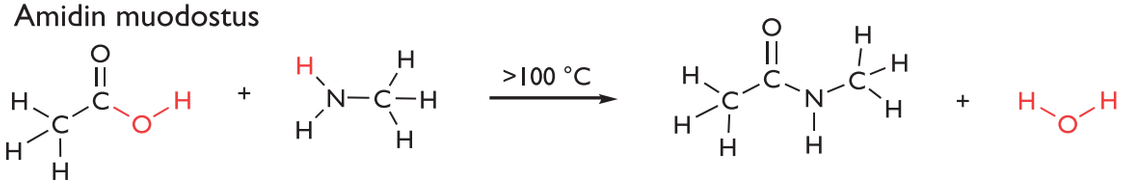
Eetteröinti eli eetterisynteesi



etanoli + etanoli → dietyylieetteri + vesi

Huom! Kasvatettaessa lämpötilaa eliminaatioreaktion osuus alkaa kasvaa (ks. edellinen sivu).

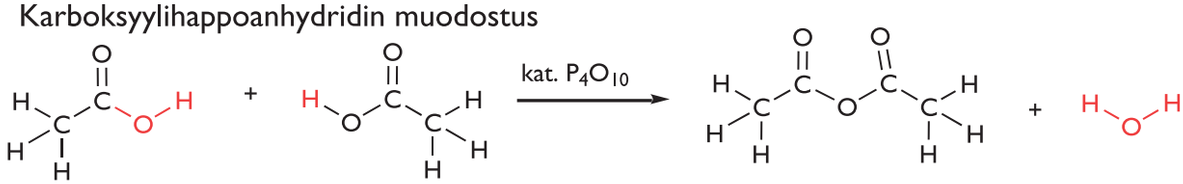
Amidin muodostus



etikkahappo (etaanihappo) + metyyliamiini → *N*-metyylietaaniamidi + vesi

Huom! Ensisijaisesti karboksyylihapon ja amiinin reaktiossa muodostuu suolaa. Amidin muodostuminen edellyttää kuumennusta.

Karboksyylihappoanhydridin muodostus



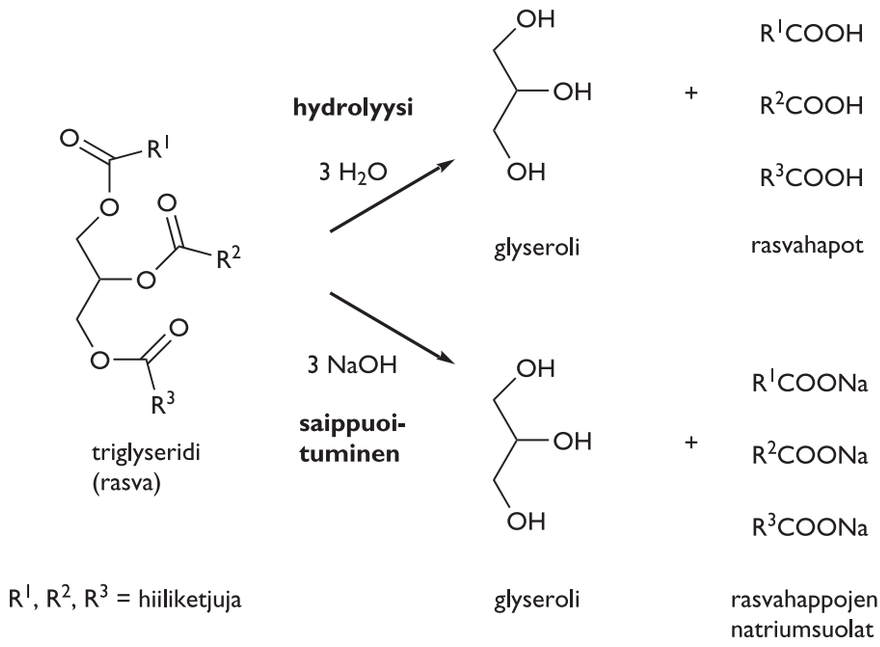
etikkahappo (etaanihappo) + etikkahappo (etaanihappo) → etikkahappoanhydridi (etaanihappoanhydridi) + vesi

Huom! Amino- tai hydroksihapot eivät voi muodostaa karboksyylihappoanhydridiä.

Hydrolyysi

– Kondensaation käänteisreaktio, tyypillinen esteri- ja amidiryhmillä.
– Yksi molekyyli hajoaa kahdeksi molekyyliksi, kun siihen liittyy vesimolekyyli H_2O.
– Saippuoituminen on triglyseridin emäskatalyyttinen hydrolyysi, jossa esim. natriumhydroksidi NaOH nopeuttaa reaktiota. Reaktion tuloksena syntyy glyserolia ja karboksyylihappojen suoloja.
– Proteiinien hydrolyysissä peptidiketjut pilkkoutuvat aminohapoiksi.

Hydrolyysireaktioita



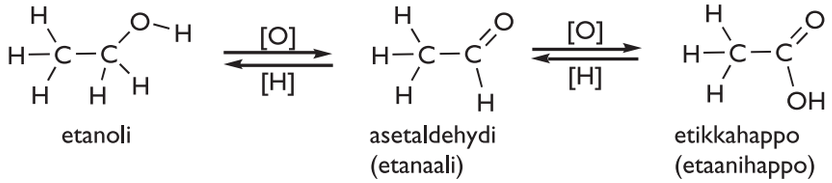
Saippuan valmistuksessa voidaan käyttää kasviöljyä tai esimerkiksi kookosrasvaa. Rasvan annetaan reagoida natriumhydroksidin kanssa. Reaktiossa muodostuu rasvahappojen natriumsuoloja eli saippuaa. Reaktion sivutuotteena syntyy myös glyserolia.

Hapettuminen ja pelkistyminen

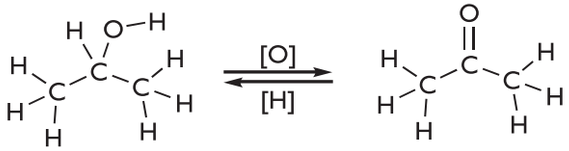
- Hapettuvia ryhmiä ovat primäärinen –OH, sekundäärinen –OH ja aldehydi –CHO.
- Pelkistyviä ryhmiä ovat karboksyylihappo –COOH, aldehydi –CHO ja ketoni >C=O.
- Orgaanisen yhdisteen hapettumisessa yhdisteen happiatomien lukumäärä kasvaa tai vetyatomien lukumäärä pienenee.
- Pelkistymisessä yhdisteen vetyatomien lukumäärä kasvaa tai happiatomien lukumäärä pienenee.
- Hyviä hapettimia ovat esimerkiksi $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, HNO_3, KNO_3, O_2, O_3 ja H_2O_2.
- Hyviä pelkistimiä ovat esimerkiksi H_2, $LiAlH_4$, Na ja N_2H_4.
- Reaktioihin merkitään lähtöaineiksi vain hapettuva tai pelkistyvä yhdiste. Hapettava tai pelkistävä aine merkitään nuolen yläpuolelle. Hapetin tai pelkistin voidaan merkitä myös yleisessä muodossa: hapetin [O] ja pelkistin [H]. Reaktioita ei tasapainoteta.

Orgaanisten yhdisteiden reaktioihin liittyvissä tehtävissä on osattava tunnistaa mahdolliset hapettimet ja pelkistimet.

Hapettumis- ja pelkistymisreaktioita



etanoli — asetaldehydi (etanaali) — etikkahappo (etaanihappo)



isopropanoli (propan-2-oli) — asetoni (propan-2-oni)

Palaminen

- Palaessaan aine reagoi hapen O_2 kanssa, kyseessä on hapettumis-pelkistymisreaktio.
- Orgaanisten yhdisteiden täydellisessä palamisessa syntyy yleensä ainakin hiilidioksidia ja vettä.
- Palamisreaktioissa molekyylikaavojen käyttö on sallittua.

Esimerkkireaktioita

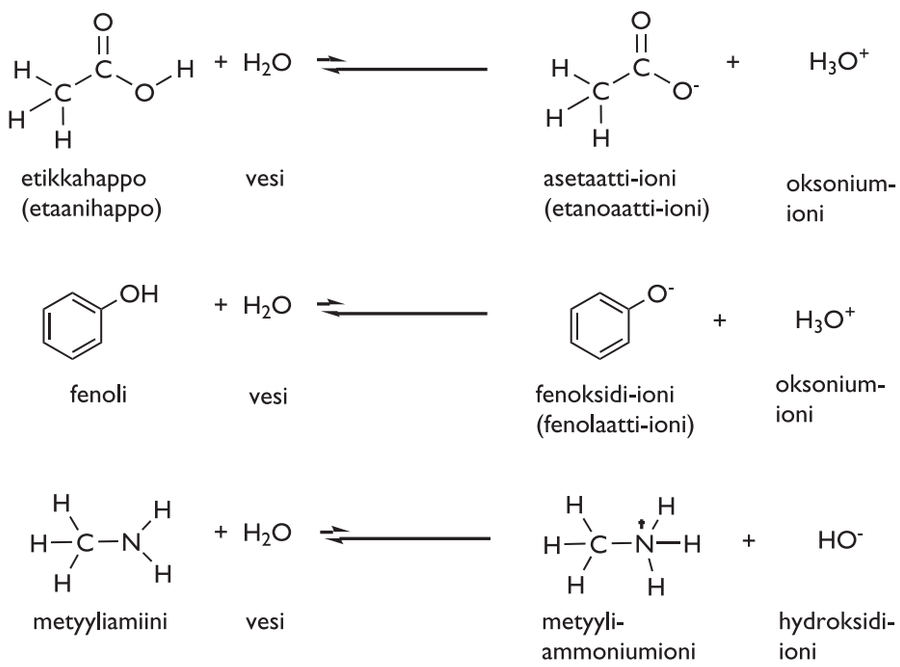
$$2\ C_2H_2(g) + 5\ O_2(g) \longrightarrow 4\ CO_2(g) + 2\ H_2O(g)$$

$$C_6H_{12}O_6(aq) + 6\ O_2(g) \underset{\text{yhteyttäminen}}{\overset{\text{soluhengitys}}{\rightleftharpoons}} 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(l)$$

Protoninsiirtoreaktiot ja neutraloituminen

- Protoninsiirto- eli protolyysireaktioissa happo luovuttaa vetyionin eli protonin H^+ ja emäs vastaanottaa sen.
- Orgaanisia happoja ovat karboksyylihapot ja fenolit ja orgaanisia emäksiä amiinit.
- Happamassa liuoksessa $c(H_3O^+) > c(OH^-)$ ja emäksisessä liuoksessa $c(H_3O^+) < c(OH^-)$.

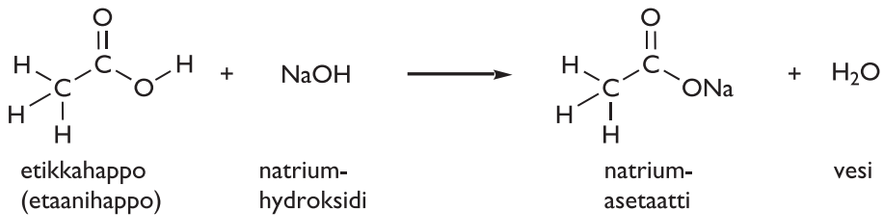
Esimerkkireaktioita



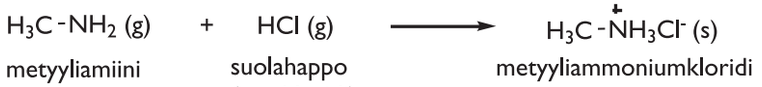
Neutraloituminen ja suolanmuodostusreaktio

– Neutraloinniksi kutsutaan tapahtumaa, jossa liuokseen lisätään happoa vastaava ainemäärä emästä (tai kääntäen). Muodostuvan liuoksen pH-arvo riippuu syntyvän suolan happamuudesta.
– Vedessä tapahtuvassa neutraloitumisreaktiossa oksoniumionit ja hydroksidi-ionit muodostavat vesimolekyylejä.
– Neutraloitumisreaktioissa muodostuu veden lisäksi suolaa.
– Mikäli happo ja emäs eivät ole vesiliuoksissa, ne voivat muodostaa suolaa myös ilman veden lohkeamista.
– Huomaa, että muodostuvan suolan ionisidosta ei saa merkitä sidosviivalla.
– Varausmerkinnät voi jättää merkitsemättäkin. Esim. $CH_3COO^-Na^+$ tai CH_3COONa ovat molemmat hyväksyttäviä merkintöjä.

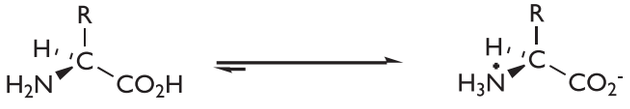
Esimerkkireaktioita



etikkahappo (etaanihappo) + natrium-hydroksidi → natrium-asetaatti + vesi



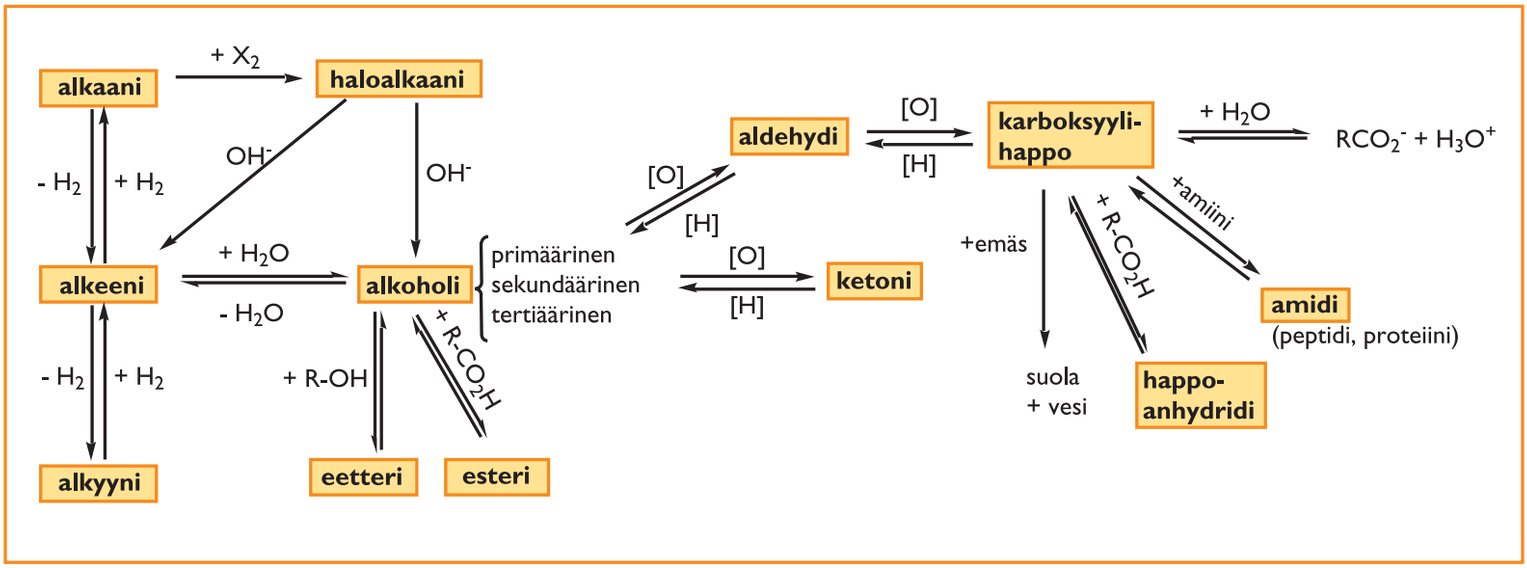
metyyliamiini + suolahappo (vetykloridi) → metyyliammoniumkloridi



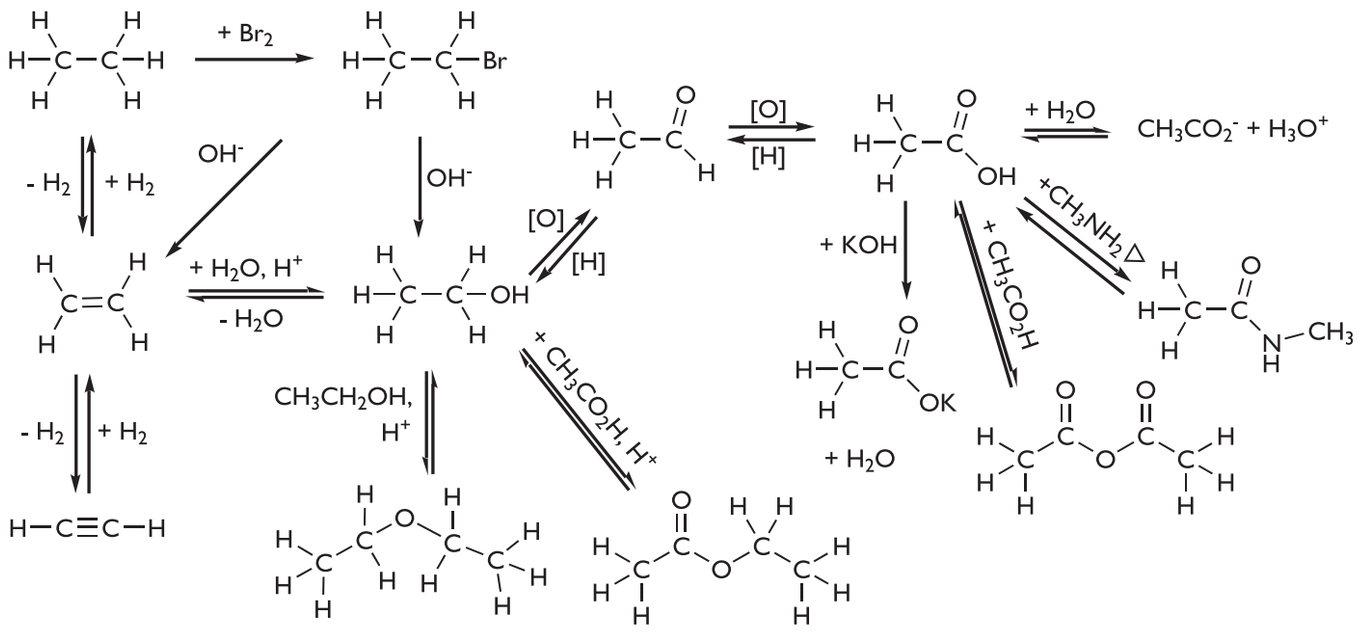
aminohappo ⇌ aminohapon kahtaisionimuoto

Reaktiot yhdistetyyppien mukaan

Kaaviossa on esitetty orgaanisten yhdisteiden yleisimpiä reaktioreittejä.

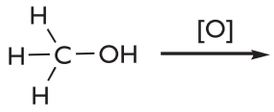


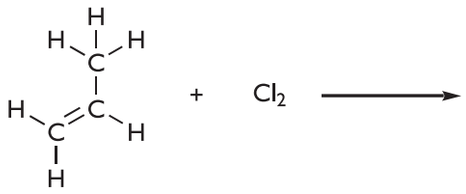
Esimerkki reaktioreittikaaviosta

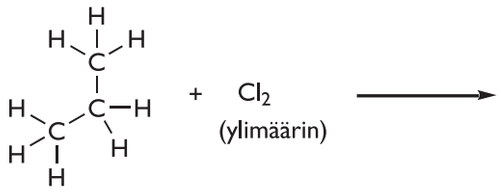


TEHTÄVIÄ

115. Täydennä reaktioiden reaktiotuotteet.

a) 

b) 

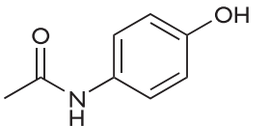
c) 

116. Oheiset molekyylien rakennekaavat esittävät kipu- ja kuumelääkkeinä käytettyjä lääkeaineita.

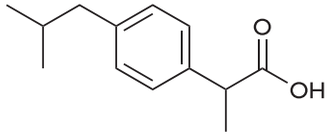
a) Mitä toiminnallisia ryhmiä parasetamoli sisältää? Entä ibuprofeeni?

b) Voiko jompikumpi molekyyleistä toimia happona? Entä emäksenä? Perustele.

c) Ibuprofeeni myydään rasemaattina (raseemisena seoksena). Selitä, mitä tämä tarkoittaa.



parasetamoli



ibuprofeiini

117. Kirjoita reaktio, jonka reaktiotuotteena on:

a) $CH_3COOCH_2CH_3$

b) $CH_3CH_2CH_3$

c) $CH_3CHClCH_2CH_3$

d) CH_3COONa

e) CH_3CH_2CHO

f) CH_3CH_2COOH.

118. Kirjoita seuraavat reaktioyhtälöt:

a) butan-1-olin hapetusreaktio vahvalla hapettimella ($KMnO_4$)

b) propanonin pelkistys ($LiAlH_4$)

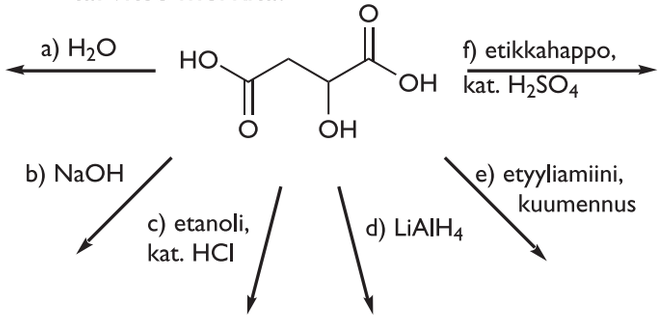
c) pent-1-eenin additioreaktio vetykloridin kanssa

d) *trans*-but-2-eenin reaktio veden kanssa happamissa olosuhteissa

e) propyynin hydraus

f) metanolin ja etikkahapon kondensaatioreaktio.

119. Omenahappoa eli hydroksibutaanidihappoa on nimensä mukaisesti omenoissa ja muissakin hedelmissä. Kirjoita omenahapon reaktiotuotteet, jotka syntyvät reaktioissa a–f. Yksi reaktiotuote riittää, eikä sivutuotteita tarvitse merkitä.



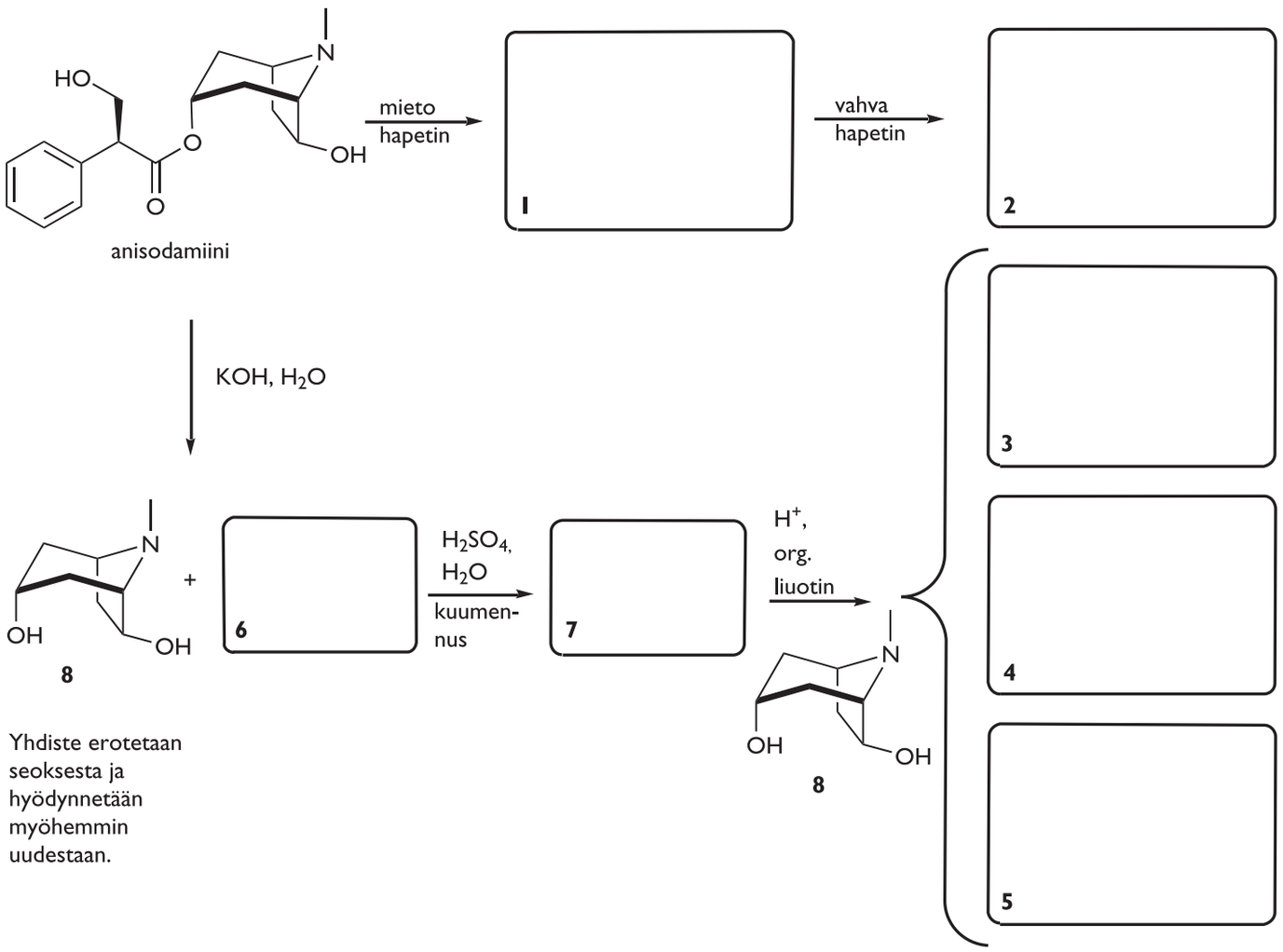
120. a) Mitä tuotteita syntyy, kun seuraavat yhdisteet palavat täydellisesti: metaani, heksanaali, glukoosi, oksaalihappo?

b) Kofeiinin moolimassa on 194,19 g/mol, ja se sisältää hiiltä, typpeä, vetyä ja happea. Kun 3,000 g kofeiinia poltetaan, syntyy 5,439 g hiilidioksidia, 1,392 g vettä ja 0,8655 g typpikaasua (N_2).
Mikä on kofeiinin molekyylikaava?

c) Miksi hapen määrää ei voi laskea pelkästään lopputuotteiden perusteella?

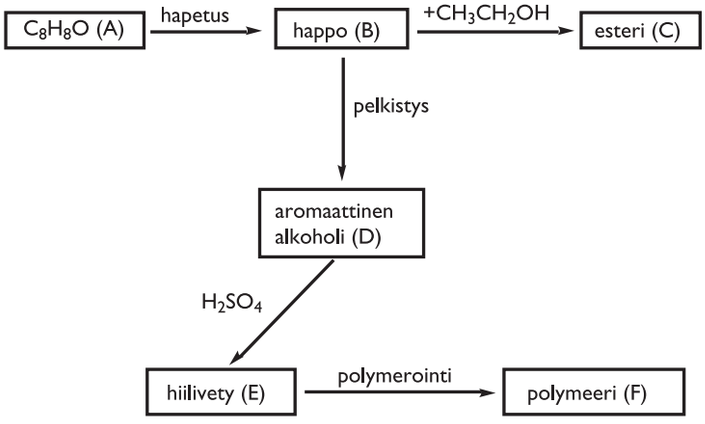
121. Anisodamiini on tietyistä *Solanaceae*-suvun kasveista eristetty yhdiste. Sen on havaittu toimivan α_1-adrenoseptorien antagonistina. Adrenoseptori on yksi reseptorityyppi. Reseptori puolestaan on proteiini, johon tietyt molekyylit voivat sitoutua. Sitoutuminen saa aikaan jonkin solun toiminnan muutoksen. Adrenoseptoreita on useita alatyyppejä, ja niitä on monissa soluissa. Muun muassa epinefriini (adrenaliini) ja norepinefriini (noradrenaliini) sitoutuvat adrenoseptoreihin. Näiden sitoutuminen α_1-adrenoseptoreihin johtaa muun muassa sileän lihaskudoksen ja verisuonten supistumiseen. Antagonistin sitoutuminen adrenoseptoriin puolestaan estää epinefriinin ja norepinefriinin vaikutuksen.

Anisodamiinista valmistettiin reseptoritutkimuksia varten neljä erilaista johdosta 1–5. Päättele muodostuvat tuotteet 1–5 sekä välituotteet 6 ja 7. Hapetusreaktioiden hapetinta ei ole tehtävässä määritelty, mutta se on valittu niin, ettei amiini reagoi. Yhdisteiden 7 ja 8 reagoidessa keskenään yhdistettä 7 käytettiin kolminkertainen ainemäärä yhdisteeseen 8 nähden, jolloin muodostui yhdisteiden 3–5 seos. Seoksen yhdisteet erotettiin toisistaan kromatografisesti.



YLIOPPILAS- JA PÄÄSYKOETEHTÄVIÄ

122. Laadi rakennekaavat yhdisteille A–F.



K-94 tehtävä 3

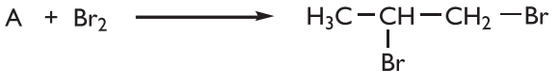
123. Esitä rakennekaavoin reaktioyhtälö, jonka mukaan akryylihappo (propeenihappo) $CH_2CHCOOH$

a) palaa täydellisesti hapessa
b) reagoi bromin kanssa
c) reagoi metanolin kanssa
d) polymeroituu
e) reagoi natriumhydroksidin kanssa vesiliuoksessa.

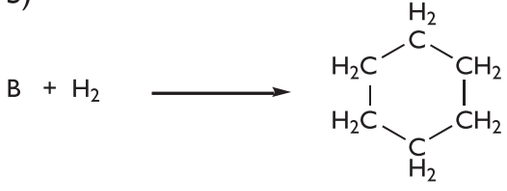
K-91 tehtävä 3

124. Esitä seuraavissa reaktioyhtälöissä esiintyvien yhdisteiden A–F rakennekaavat.

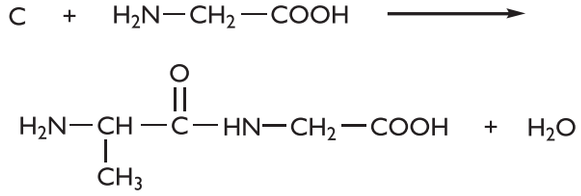
a)



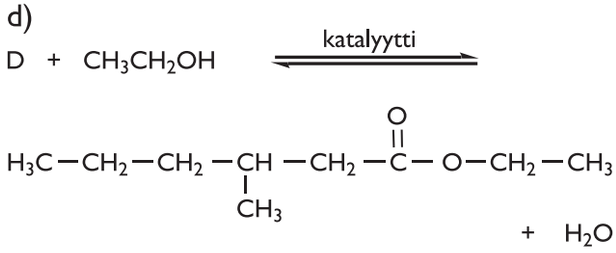
b)



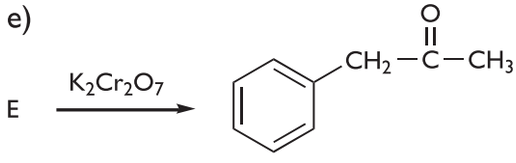
c)



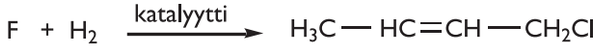
d)



e)



f)



S-02 tehtävä 4

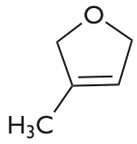
125. Krotonialdehydi C_4H_6O on kyynelkaasuna tunnettu aldehydi. Yhdiste on avoketjuinen, ja sillä tavataan *cis-trans*-isomeriaa. Krotonialdehydin isomeerit voidaan hydrata samaksi yhdisteeksi, jolloin yhtä aldehydimoolia kohti tarvitaan kaksi moolia vetykaasua.

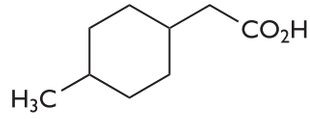
a) Laadi krotonialdehydin isomeerien rakennekaavat.
b) Esitä hydraustuotteen rakennekaava ja nimi.
c) Krotonialdehydiä hapetettaessa saadaan kaksi yhdistettä, jotka kumpikin reagoivat hydraustuotteen kanssa. Esitä näissä reaktioissa muodostuvien yhdisteiden rakennekaavat.

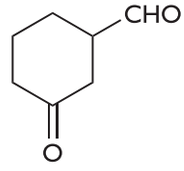
K-02 tehtävä 4

126. Yhdistä seuraavat rakenteet ominaisuuksiin a–d ja esitä muodostuvien tuotteiden rakennekaavat.

a) Yhdiste hapettuu helposti.
b) Yhdiste reagoi bromivedyn kanssa.
c) Kun natriumkarbonaatin vesiliuosta lisätään yhdisteeseen, liuos alkaa kuplia.
d) Yhdiste muodostaa esterin etanolin kanssa.

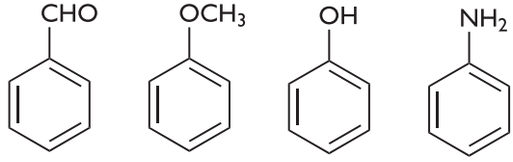






S-12 tehtävä 3

127. Alla on esitetty yhdisteiden A, B, C ja D rakennekaavat:



A B C D

a) Mihin yhdistetyyppeihin A, B, C ja D kuuluvat? (2 p.)
b) Mikä näistä yhdisteistä hapettuu helposti? Laadi hapettumistuotteen rakennekaava. (2 p.)
c) Mikä näistä yhdisteistä liukenee helposti happoihin? Perustele. (1 p.)
d) Mikä näistä yhdisteistä liukenee helposti emäksiin? Perustele. (1 p.)

K-07 tehtävä 7

128. Bensiinin palaessa täydellisesti muodostuu hiilidioksidia ja vettä.

a) Kirjoita palamisreaktion yhtälö. (1 p.)
b) Kuinka monta grammaa hiilidioksidia syntyy, kun 1,55 litraa bensiiniä palaa täydellisesti? (2 p.)
c) Mikä on näin muodostuneen hiilidioksidin tilavuus (NTP)? (2 p.)
d) Kuinka paljon lämpöenergiaa 1,00 litrasta bensiiniä voidaan saada? (2 p.)

Bensiiniä voidaan pitää hiilivetynä C_8H_{18}, jonka tiheys (NTP) on 0,703 g/ml ja palamislämpö $\Delta H = -5470$ kJ/mol.

K-07 tehtävä 2

129. Yhdiste C_4H_9Br reagoi natriumhydroksidiliuoksessa, jolloin voi muodostua kolme erilaista tuotetta A, B ja C. Laadi yhdisteiden A, B ja C rakennekaavat ja nimeä yhdisteet, kun tiedetään, että

- yhdisteellä A on enantiomeeri (peilikuvaisomeeri)
- yhdisteet B ja C ovat keskenään rakenneisomeerejä
- yhdisteellä C esiintyy *cis-trans*-isomeriaa.

S-12 tehtävä 5

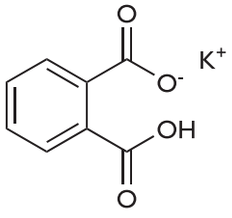
130. a) Kun alkeeniin X lisätään vettä, saadaan alkoholi Y. Alkoholin Y hapetustuotteena saadaan 3,3-dimetyyli-2-heksanonia. Kirjoita näiden kahden reaktion reaktioyhtälöt täydellisillä rakennekaavoilla ja nimeä yhdisteet X ja Y.

b) HBr voi reagoida kolmen eri alkeenin kanssa, jolloin tuotteena saadaan 2-bromibutaania. Kirjoita näiden kolmen alkeenin täydelliset rakennekaavat ja kirjoita reaktioyhtälö, kun HBr reagoi näistä yhden alkeenin kanssa.

DI-yhteisvalinta 2012 / kemian koe tehtävä 1

131. Elintarvikelaboratoriossa tutkittiin rasvanäytettä hydrolysoimalla rasvamolekyyli glyseroliksi ja rasvahapoiksi. Kromatografinen analyysi paljasti, että rasva sisälsi vain yhtä rasvahappoa. Esitä reaktioyhtälö rasvan hydrolyysireaktiolle.

Rasvahapon moolimassa selvitettiin happoemästitrauksella: 639,1 mg rasvahapponäytettä kulutti 23,05 ml titranttina käytettyä NaOH-liuosta. Käytetyn NaOH-liuoksen konsentraatio oli ennen määritystä tarkistettu titraamalla sillä tunnettu näyte kaliumvetyftalaattia (rakennekaava ohessa), jolloin 217,8 mg kaliumvetyftalaattia kulutti 10,78 ml NaOH-liuosta. Esitä reaktioyhtälöt kaliumvetyftalaatin sekä rasvahapon reaktiolle natriumhydroksidin kanssa. Ratkaise rasvahapon moolimassa ja bruttokaava. Onko se tyydyttynyt vai tyydyttymätön rasvahappo? (10 p.)

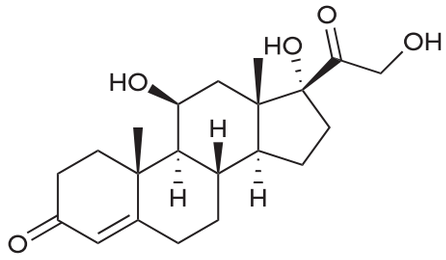


TY / Terveyden biotieteiden valintakoe 2011 tehtävä 11

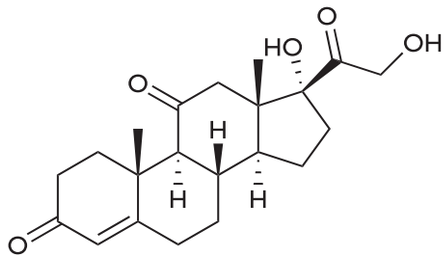
132. Seuraaviin tehtäviin liittyy viisi väitettä, joista jokainen voi olla oikea tai väärä:

A Hydrokortisoni (rakenne ohessa) on lisämunuaisen kuorikerroksen hormoni eli kortikosteroidi, jota voidaan käyttää lääkkeellisesti suonensisäisesti, oraalisesti tai voiteena tarkoituksena lievittää tulehdusta. Yhdisteisiin liittyen seuraavat väitteet ovat oikein tai väärin:

a) Kortisoni on hydrokortisonin hapetustuote.
b) Kortisoni ja hydrokortisoni ovat alkoholeja ja ketoneja.
c) Kortisoni ja hydrokortisoni ovat toistensa funktioisomeerejä.
d) Kortisoni voi hydrolysoitua.
e) Kortisonin ja hydrokortisonin rakenteet on esitetty avaruusrakenteina.



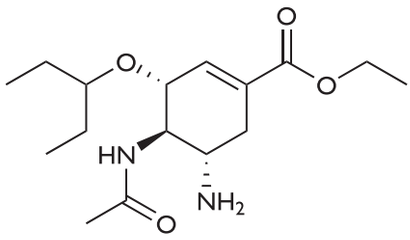
hydrokortisoni



kortisoni

B Tamiflu (rakenne ohessa) on neuraminidaasi-inhibiittori, joka on kehitetty influenssan aiheuttavia A- ja B-viruksia vastaan ja joka on saanut huomattavaa julkisuutta sikainfluenssan hoitoon liittyen. Yhdisteeseen liittyen seuraavat väitteet ovat oikein tai väärin:

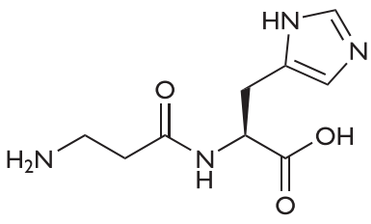
a) Yhdisteessä on neljä asymmetristä hiiliatomia.
b) Yhdisteen hydrolyysi voi tuottaa etanolia.
c) Yhdisteessä on yksi primäärinen aminoryhmä, joka mahalaukun olosuhteissa (pH 1,5–3,5) protonoituu.
d) Yhdisteessä on neljä funktionaalista (toiminnallista) ryhmää.
e) Yhdisteellä esiintyy *cis-trans*- ja optista isomeriaa.



Tamiflu

C Oheinen yhdiste on elimistössämmekin muodostuva yhdiste, karnosiini. Karnosiinia esiintyy muun muassa sydänlihaksessa, aivoissa, ihossa maksassa ja munuaisissa. Se on tunnettu ravintolisä ja sillä on potentiaalia lääkekehitystä ajatellen. Yhdisteeseen liittyen seuraavat väitteet ovat oikein tai väärin:

a) Karnosiini on dipeptidi.
b) Yhdiste on muodostunut α- ja β-aminohaposta.
c) Yhdisteestä voi tunnistaa 3-aminopropaanihappo-osan.
d) Karnosiini voi muodostaa suolan kalsiumhydroksidin kanssa.
e) Monomeerisista aminohapoista voidaan kondensaatioreaktion avulla valmistaa kaksi erilaista dipeptidiä.



karnosiini

D Seuraavat väitteet ovat oikein tai väärin:

a) Tehtävän 2 Tamiflu sisältää asetyyliryhmän ($CH_3C{=}O$). Ryhmässä on sp^2-hybridisoitunut hiiliatomi.
b) Asetyyliryhmän hiili-happisidos on kovalenttinen sidos, jossa hiilellä on negatiivinen osittaisvaraus.
c) Vetysidos on elämälle tärkeä dipoli-dipolisidos.
d) Kovalenttinen C–C-sidos on σ-sidos, joka muodostuu, kun kaksi hybridisoitunutta atomiorbitaalia sulautuu yhteen molekyyliorbitaaliksi.
e) Nukleiinihapot sisältävät typpiemäksiä.

TY / Terveyden biotieteiden valintakoe 2010 tehtävä 1

OSA 2

JAKSO **5**

Kokeellinen kemia

8 Kokeellinen kemia

8 Kokeellinen kemia

Kokeelliseen tehtävään vastattaessa on mietittävä, onko kyseessä koululaboratoriossa tehtävä työ vai teollisuuden sovellus. Kokeellisen tehtävän vastauksessa kerrotaan työssä käytettävä välineistö. Vastausta täydentää kuvaus työturvallisuudesta ja määritystarkkuudesta.

Kemiallinen synteesi

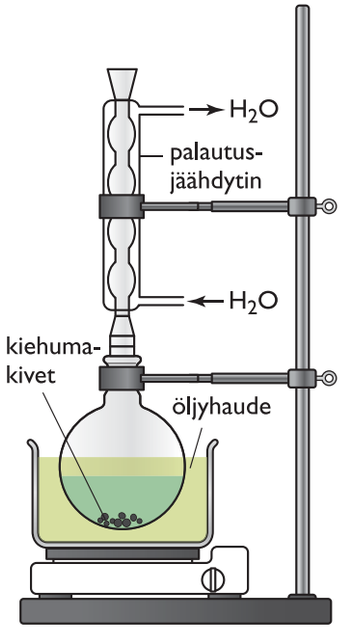
Kemiallisessa synteesissä valmistetaan yhdistettä mahdollisimman yksinkertaisista lähtöaineista, mahdollisimman puhtaana ja mahdollisimman paljon. Teollisessa mittakaavassa kiinnitetään erityistä huomiota synteesinopeuteen ja -tehokkuuteen, saantoprosenttiin ja reaktion sivutuotteisiin sekä ympäristöhaittojen minimoimiseen.

Synteesin työvaiheita ovat reaktiovaihe, eristys- ja puhdistusvaihe sekä puhtauden tarkistus. Eristys- ja puhdistusvaiheessa voidaan esimerkiksi uuttaa veteen huonosti liukenevat yhdisteet orgaanisella liuottimella erotussuppilossa, tislata toisiinsa liuenneet nesteet, pestä kiteistä liukoiset epäpuhtaudet tai tislata seokseen jäänyt liuotin pois seoksesta. Kiteiden puhdistukseen voidaan käyttää sublimointia tai uudelleenkiteytystä.

Puhtaus voidaan tarkistaa höyrystyviltä yhdisteiltä esimerkiksi kaasukromatografialla tai spektroskopialla ja höyrystymättömiltä aineilta spektroskopian lisäksi ohutlevykromatografialla. Viitteitä puhtaudesta saa myös sulamis- ja kiehumispisteiden terävyydestä ja siitä, jos havaitut arvot poikkeavat kirjallisuusarvoista.

Valmistusreaktioita

Kaasu	Valmistusmenetelmiä	Kaasun keräys	Tunnistustapa
Hiilidioksidi CO_2	karbonaatti + happo $CaCO_3(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow$ $CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$	johdetaan alaspäin tyhjään astiaan	– samentaa kylläisen kalkkivesiliuoksen $Ca(OH)_2(aq) + CO_2(g)$ $\rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$
Vety H_2	epäjalo metalli + happo $Zn(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$	pneumaattinen amme	– muodostaa hapen ja ilman kanssa räjähtävän seoksen
	teollinen valmistus: metaanin höyryreformointi $CH_4(g) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + 3\ H_2(g)$ $CH_4(g) + 2\ H_2O(g) \rightarrow CO_2(g) + 3\ H_2(g)$ $CO(g) + H_2O(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2(g)$		
Ammoniakki NH_3	ammoniumsuola + väkevä emäsliuos $NH_4Cl(s) + NaOH(aq) \rightarrow$ $NaCl(aq) + H_2O(l) + NH_3(g)$	johdetaan ylöspäin tyhjään astiaan	– pistävä haju – liukenee runsaasti veteen emäksiseksi liuokseksi
	teollinen valmistus: Haber-Bosch-menetelmä $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$		
Happi O_2	vetyperoksidin hapettaminen $2\ H_2O_2(aq) \xrightarrow{MnO_2 \text{ tai } KI} 2\ H_2O(l) + O_2(g)$	pneumaattinen amme	– ylläpitää palamista – sytyttää hehkuvan puutikun liekkiin
	tislaaminen ilmasta		
Vetykloridi HCl	metallikloridi + väkevä rikkihappo $2\ NaCl(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow$ $Na_2SO_4(aq) + 2\ HCl(g)$	johdetaan tyhjään astiaan	– liukenee runsaasti veteen happamaksi liuokseksi
Kloori Cl_2	kaliumpermanganaatti + väkevä suolahappo $2\ KMnO_4(s) + 16\ HCl(aq) \rightarrow$ $8\ H_2O(l) + 2\ MnCl_2(aq) + 2\ KCl(aq) + 5\ Cl_2(g)$	johdetaan alaspäin tyhjään astiaan	– valkaiseva aine – tyypillinen haju – tärkkelys-jodidipaperi värjäytyy $Cl_2(g) + 2\ I^-(aq) \rightarrow$ $2\ Cl^-(aq) + I_2(aq)$
	elektrolyyttiset menetelmät $2\ Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2\ e^-$		



ESIMERKKI

Esterisynteesi

Etyyliasetaatti eli etikkahapon etyyliesteri on väritön, helposti syttyvä neste, joka liukenee huonosti veteen. Etyyliasetaatin kiehumispiste on 77 °C. Selitä, miten teet esterisynteesin, jossa valmistat etanolista ja etikkahaposta etyyliasetaattia, ja kerro myös, miten puhdistat esterin. Käytettävissäsi on erotussuppiloita, statiiviin kiinnitettävä rengas, suppilo ja suodatinpaperia, kylläistä ruokasuolaliuosta, natriumkarbonaatin vesiliuosta, kidevedetöntä magnesiumsulfaattia ja rikkihappoa sekä lasiastioita, suojavälineitä ja oheisen kuvan mukainen laitteisto.

Vesiliukoiset, ylimääräiset lähtöaineet poistetaan siten, että vesifaasin tiheyttä kasvatetaan lisäämällä siihen kylläistä ruokasuolaliuosta. Tällöin nestekerrokset erottuvat paremmin toisistaan. Reagoimattoman hapon neutralointiin käytetään natriumkarbonaatin vesiliuosta. Veden poistamiseen käytetään kidevedetöntä magnesiumsulfaattia.

Ratkaisu

Työtä tehtäessä käytetään suojavälineinä työtakkia, suojalaseja ja laboratoriohansikkaita. Työ tehdään vetokaapissa.

Synteesi tehdään pystyjäähdyttimen avulla. Reaktioastiana toimii pyöreäpohjainen tislauskolvi. Kolvin pohjalle laitetaan kiehumakivet, yhtä suuret ainemäärät reaktion lähtöaineita, etanolia ja etikkahappoa sekä katalyytiksi hieman rikkihappoa. Esterin muodostuminen on tasapainoreaktio. Rikkihappo toimii katalyyttinä, ja lisäksi se siirtää reaktion tasapainoa reaktiotuotteiden puolelle sitomalla syntyvää vettä.

Kolvi täytetään puolilleen tai enintään 2/3:aan tilavuudesta. Kiehumakivistä vapautuu ilmakuplia, jotka toimivat höyrystymiskeskuksina ja estävät näin reaktioseoksen äkillisen kuumentumisen ja roiskumisen.

Pystyjäähdytin kiinnitetään kolviin ja kolvi asetetaan keittolevyn päällä olevaan öljyhauteeseen. Avotulta ei saa käyttää, koska etyyliasetaatti on helposti syttyvä neste. Pystyjäähdytin ja kolvi kiinnitetään statiiviin. Öljyhauteen lämmitys aloitetaan sen jälkeen, kun pystyjäähdyttimen vesikierto on päällä.

Esterin eristäminen ja puhdistaminen sisältää monta vaihetta. Jäähtynyt reaktioseos siirretään erotussuppiloon. Ensin reaktioseoksesta poistetaan vesiliukoiset lähtöaineet lisäämällä kylläistä ruokasuolaliuosta. Erotussuppiloa käytettäessä on ravistusten välillä muistettava tasata painetta pitämällä korkilla suljettua erotussuppiloa alassuin ja avaamalla hanaa.

Ravistelun jälkeen erotussuppilo kiinnitetään renkaalla statiiviin ja kerrosten erottumisen jälkeen alhaalla oleva vesikerros poistetaan mahdollisimman tarkkaan. Tämä vaihe toistetaan tarvittaessa. Reagoimaton happo neutraloidaan pesemällä esteriä sisältävää seosta emäksisellä natriumkarbonaatin vesiliuoksella erotussuppilossa (kuten edellä). Hapon reagoidessa natriumkarbonaatin kanssa syntyy hiilidioksidia. Paineen tasaaminen joudutaan tekemään korkin löysäämisen avulla, koska hiilidioksidia muodostuu erittäin nopeasti. Esteri siirretään keitinlasiin. Siihen jäänyt vesi poistetaan lisäämällä kidevedetöntä magnesiumsulfaattia. Kuivausaine suodatetaan pois.

Analyysi- ja erotusmenetelmät

Kvantitatiivisessa analyysissä pyritään selvittämään seoksessa olevan, tutkittavan aineen tarkka määrä ja siitä edelleen tutkittavan aineen konsentraatio, seoksen puhtausprosentti tai seoksen koostumus. Kvalitatiivisessa analyysissä selvitetään, mitä aineita tutkittavassa seoksessa on.

Alla oleviin taulukoihin on koottu joitakin yleisiä kemiassa käytettäviä analyysi- ja erotusmenetelmiä. Kaikkia menetelmiä ei ole käsitelty kattavasti lukiokursseissa.

Analyysi- ja erotusmenetelmien valinta pohjautuu tutkittavien yhdisteiden ominaisuuksiin:

- Spektroskopia
  → Yhdisteen on kyettävä vuorovaikuttamaan sähkömagneettisen säteilyn kanssa.
- Kromatografia
  → Erotettavien yhdisteiden on sitouduttava tai liuettava eri tavoin paikallaan pysyvään faasiin.
- Ioninvaihtokromatografia ja elektroforeesi
  → Analysoitavissa tai erotettavissa yhdisteissä pitää olla sähköisiä varauksia.
- Titraukset
  → Analysoitavan yhdisteen on reagoitava titrauksen perustana olevassa reaktiossa.
- Gravimetrinen analyysi, nestekromatografia, uutto, suodatus ja kiteytys
  → Menetelmät perustuvat osaltaan yhdisteiden liukoisuuksiin.
- Kaasukromatografia ja tislaus
  → Yhdisteiden on kestettävä kuumennusta, ja niiden kiehumispisteiden suuruusluokka pitäisi hahmottaa.

Analyysimenetelmiä

Titraus	
Periaate	Esimerkkejä
Pitoisuudelta tarkasti tunnetun mittaliuoksen annetaan reagoida määritettävän yhdisteen tai ionin kanssa. Päätepiste määritetään esimerkiksi värillisen indikaattorin avulla. Mittaliuoksen kulutus luetaan byretin asteikolta → ratkaistaan mittaliuoksen ainemäärä → ratkaistaan määritettävän aineen ainemäärä → ratkaistaan määritettävän aineen massa/konsentraatio.	– happo-emästitraus – saostustitraus – hapetus-pelkistystitraus – kompleksinmuodostustitraus

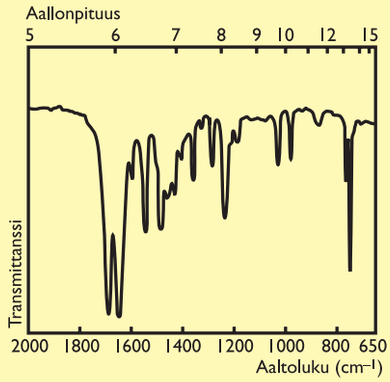
Spektroskopia

Periaate

Aine vuorovaikuttaa sähkömagneettisen säteilyn kanssa. Spektroskopiassa mitataan aineeseen absorboituneen tai aineesta emittoituneen säteilyn intensiteetti.

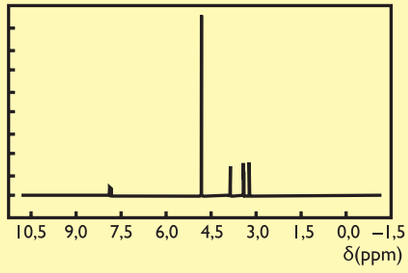
Esimerkkejä

IR-spektroskopia:
infrapunasäteily aiheuttaa molekyyleissä värähtelyjä, kuten sidosten venytyksiä ja taivutuksia.



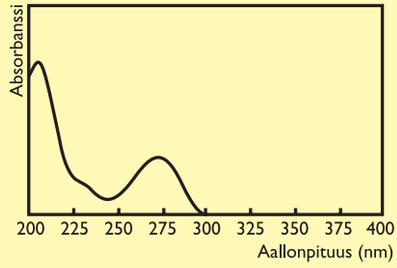
kofeiinin IR-spektri

NMR-spektroskopia:
voimakkaassa magneettikentässä atomiydin absorboi sähkömagneettista säteilyä.



kofeiinin NMR-spektri

UV/VIS-spektroskopia:
UV- tai näkyvä valo aiheuttaa molekyyleissä elektronien virittymistä.



kofeiinin UV-spektri

Atomiabsorptiospektroskopia

Periaate	Esimerkki
Atomit saatetaan kaasumaiseen tilaan. UV- tai näkyvä valo virittää atomin elektronin, ja absorboitunut säteily mitataan.	– alkuaineiden pitoisuuksien mittaus

Elektroforeesi

Periaate	Esimerkki
Tasavirran vaikutuksesta eri varauksen omaavat yhdisteet liikkuvat eri nopeuksilla sähkökentässä.	– proteiinien erotus toisistaan

Kromatografia	
Periaate	Esimerkkejä
Yhdisteet erottuvat niiden kulkeutuessa liuotin- tai kaasuvirran mukana paikallaan pysyvän kiinteän tai nestemäisen aineen ohi. Tutkittava aine voidaan tunnistaa, kun sen kulkemaa matkaa liuottimen tai kaasun mukana verrataan tunnetun aineen kulkemaan matkaan. Matkaan vaikuttavat esimerkiksi aineiden poolisuus ja hiukkaskoko.	– paperikromatografia – kaasukromatografia – ohutlevykromatografia (thin layer chromatography, TLC) – pylväskromatografia – korkean erotuskyvyn nestekromatografia (high-performance liquid chromatography, HPLC)

Massaspektrometria	
Periaate	Esimerkki
Molekyyliä pommitetaan esimerkiksi elektroneilla, jolloin molekyyli pilkkoutuu osiin. Syntyneet ionit ohjataan sähkökentän kautta magneettikenttään ja sen jälkeen ilmaisimelle. Ionit, joilla on sama massa ja varaus, saapuvat ilmaisimelle samaan kohtaan.	– orgaanisten yhdisteiden tunnistus

Gravimetrinen analyysi	
Periaate	Esimerkki
Tehdään niukkaliukoinen saostuma. Saostuma eristetään ja punnitaan.	– kloridi-ionit saostetaan hopeakloridina AgCl

Liekkikoe	
Periaate	Esimerkki
Metalliatomit virittyvät, ja viritystila purkautuu näkyvänä valona. Metalliyhdisteet haihtuvat ja värjäävät liekin kullekin metallille ominaisen väriseksi.	– strontiumatomien viritystilan purkautuessa syntyy punaista valoa

Myös kromatografiaa voidaan käyttää yhdisteiden konkreettiseen erottamiseen.

Erotusmenetelmiä

Tislaus	
Periaate	Esimerkki
Nesteitä voidaan erottaa toisistaan, kun niiden kiehumispisteet eroavat toisistaan riittävästi. Molemmat nesteet saadaan talteen.	– asetonin erottaminen vedestä

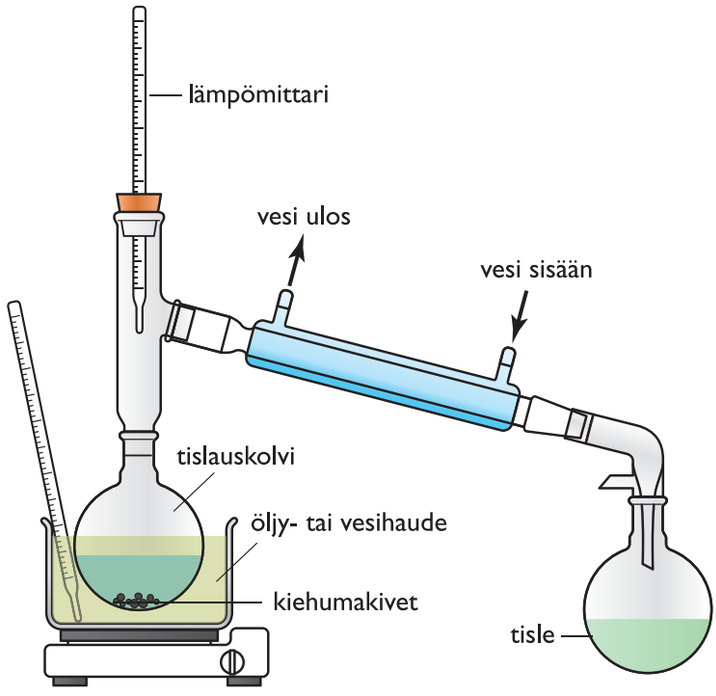
Uutto	
Periaate	Esimerkki
Aine erotetaan liuoksesta aineen liukoisuusominaisuuksien perusteella.	– aktiivinen uutto: uutettava aine ja liuotin reagoivat, ja uutettavasta aineesta syntyy liukoisuusominaisuuksiltaan erilainen yhdiste verrattuna reagoimattomaan yhdisteeseen • esimerkiksi veteen liukenemattomasta orgaanisesta yhdisteestä tehdään sen suola, jolloin yhdiste muuttuu paremmin tai kokonaan vesiliukoiseksi ja se uutetaan orgaanisesta liuottimesta veteen

Suodatus	
Periaate	Esimerkki
Kiinteä aine erotetaan nesteestä.	– saostuman erottaminen liuoksesta

Kiteytys	
Periaate	Esimerkki
Seos liuotetaan kuumaan liuottimeen. Jäähdytettäessä haluttu yhdiste kiteytyy, koska se liukenee huonosti kylmään liuottimeen. Kiteet suodatetaan erilleen.	– kiteisten orgaanisten yhdisteiden puhdistus

Ulkoilija havaitsi kaupungin lumenkaatopaikalla sinistä lunta usean neliömetrin alueella ja teki asiasta ilmoituksen kaupungin ympäristönsuojelutoimistoon. Ympäristötarkastaja epäili aineen olevan sammutinjauhetta, jossa sinistä väriä on lisätty merkkiväriksi. Lumesta otettiin näyte, joka lähetettiin analysoitavaksi VTT:lle. Aineesta ajettiin IR-spektri, jota verrattiin tietokannassa oleviin eri sammutinaineiden IR-spektreihin. Analyysi osoitti aineen olevan sammutinjauhetta (ammoniumdivetyfosfaattia ja ammoniumsulfaattia) ja sinisen aineen merkkiväriä.

Tislauksessa nesteseosta kuumennetaan tislauskolvissa. Höyry kulkeutuu jäähdyttäjään, jossa se tiivistyy nesteeksi. Tislauksen onnistuessa yhdisteet tislautuvat kiehumispistejärjestyksessä. Tislautuvan yhdisteen kiehumispisteen näkee lämpömittarista. Kun lämpötila muuttuu, keräyspullo vaihdetaan. Kuvan tislauslaitteistolla voidaan erottaa nesteitä, joiden kiehumispiste-ero on > 80 °C. Tislauskolonnia käytettäessä kiehumispiste-eron on oltava > 20 °C.



ESIMERKKI

Liuoksen valmistaminen ja pitoisuuden tarkistaminen

a) Selitä, miten valmistat 100,0 ml NaOH-liuosta, jonka konsentraatio on 0,200 M?

b) Valmistaessasi liuosta huomaat, miten kiinteä NaOH hygroskooppisena aineena vettyy hieman. Miten tarkistat valmistamasi liuoksen konsentraation pH-titrauksella, kun käytössäsi on 0,100 M HCl-liuosta?

Ratkaisu

a) Lasketaan, kuinka monta grammaa kiinteää natriumhydroksidia on punnittava.

$$n(\mathrm{NaOH}) = c(\mathrm{NaOH}) \cdot V(\mathrm{NaOH}) = 0{,}200\,\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 0{,}100\ \mathrm{l} = 0{,}0200\ \mathrm{mol}$$

$$m(\mathrm{NaOH}) = n(\mathrm{NaOH}) \cdot M(\mathrm{NaOH}) = 0{,}0200\ \mathrm{mol} \cdot (22{,}99 + 16{,}00 + 1{,}008)\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$

$$= 0{,}79996\ \mathrm{g} \approx 0{,}800\ \mathrm{g}$$

Punnittava määrä natriumhydroksidia siirretään 100 ml:n mittapulloon, jonka pohjalla on hieman tislattua vettä. Tämän jälkeen mittapulloon lisätään tislattua vettä noin puoleen tilavuudesta ja käännellään suljettua pulloa niin, että kaikki natriumhydroksidi on liuennut. Liukenemisen aikana pullo lämpenee selvästi. Liukenemisen jälkeen pullo täytetään kaulassa olevaan merkkiin asti niin, että veden pinnan kaarevan kohdan alalaita on merkin kohdalla.

Veden lisääminen tutkittavaan liuokseen ennen titrausta ei vaikuta NaOH:n ainemäärään.

b) Jotta natriumhydroksidiliuoksen konsentraatio voidaan selvittää, byretti täytetään 0,100 molaarisella suolahappoliuoksella ja täyspipetillä mitataan esimerkiksi 10,0 ml NaOH-liuosta keitinlasiin. Keitinlasiin asetetaan pH-mittari. Tarvittaessa keitinlasiin voidaan lisätä tislattua vettä, jotta mittarin elektrodin pää on liuospinnan alapuolella. Titraus tehdään lisäämällä vähitellen keitinlasin liuokseen suolahappoa ja seuraamalla pH:ta ja titrauskäyrää. Titrauksessa tapahtuu reaktio
$\mathrm{NaOH(aq)} + \mathrm{HCl(aq)} \rightarrow \mathrm{NaCl(aq)} + \mathrm{H_2O(l)}$.
Titrauskäyrän jyrkkä nousu ilmaisee titrauksen päätepisteen, jossa kaikki lähtöaine on kulunut. Tämän jälkeen titrausta jatketaan vielä vähän aikaa. Titrauskäyrän päätepisteestä luetaan $V(\mathrm{HCl})$ ja tämän avulla lasketaan $n(\mathrm{HCl}) = V(\mathrm{HCl}) \cdot c(\mathrm{HCl}) = n(\mathrm{NaOH})$.
NaOH-liuoksen konsentraatio saadaan selville laskemalla:

$$c(\mathrm{NaOH}) = \frac{n(\mathrm{NaOH})}{V(\mathrm{NaOH})}$$

Titraus tehdään vähintään kahteen kertaan, jotta mittausvirheet häviävät.

Kokeellisesti määritettyä, reaktioyhtälön vastaavaa ekvivalenttikohtaa sanotaan titrauksen päätepisteeksi.

ESIMERKKI

Suolapitoisuuden määritys

Elintarvikkeiden suolapitoisuus voidaan määrittää saostustitrauksella, ns. Mohrin menetelmällä. Siinä kloridi-ionien määrä saadaan titraamalla kloridiliuos hopeanitraattiliuoksella, $AgNO_3$, jonka konsentraatio tunnetaan. Työssä muodostuu valkea hopeakloridisaostuma, AgCl. Titrauksen indikaattorina käytetään kaliumkromaattiliuosta, K_2CrO_4. Kromaatti-ionit muodostavat hopeaionien kanssa niukkaliukoisen hopeakromaatin, Ag_2CrO_4, jonka liukoisuus on suurempi kuin hopeakloridin. Hopeakromaatti saostuu vasta sitten, kun kaikki kloridi-ionit ovat saostuneet hopeakloridina. Tällöin voidaan havaita punertavan hopeakromaatin saostuminen.

a) Kirjoita titraukseen liittyvät reaktioyhtälöt.

b) Laske leivän suolapitoisuus, kun 5,600 g leipää murskattiin, keitettiin useita minuutteja 100 millilitrassa vettä ja liuoksesta otettiin 50,0 ml:n näyte titraukseen. Titrauksessa kului 11,4 ml hopeanitraattiliuosta, jonka konsentraatio oli 0,0500 M.

c) Miksi tutkija titraa valolta suojatussa paikassa?

Ratkaisu

a) Reaktioyhtälöt:

$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

$2\,AgNO_3(aq) + K_2CrO_4(aq) \rightarrow Ag_2CrO_4(s) + 2\,KNO_3(aq)$

b) $n(Ag^+) = c \cdot V = 0{,}0500\,\frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 11{,}4\ \text{ml} = 0{,}570\ \text{mmol} = n(Cl^-) = n(NaCl)$

$m(NaCl) = n \cdot M = 0{,}570\ \text{mmol} \cdot (22{,}99 + 35{,}45)\,\frac{\text{g}}{\text{mol}} = 33{,}3108\ \text{mg}$

Titraukseen otettiin puolet näytteestä, joten

$m(NaCl)_{kok} = 66{,}6216\ \text{mg}$

$\frac{0{,}0666216\ \text{g}}{5{,}600\ \text{g}} \cdot 100\ \% = 1{,}189671\ \% \approx 1{,}19\ \%$

Vastaus: Leivän suolapitoisuus oli 1,19 %.

c) Hopeakloridi hajoaa valon vaikutuksesta.

TEHTÄVIÄ

133. Koeputkessa sekoitetaan seuraavat aineet:
a) 10 ml vettä ja 5 ml bensiiniä
b) 50 ml vettä ja 50 ml etanolia
c) 0,5 g natriumkloridia ja 100 ml vettä
d) 0,5 g natriumkloridia ja 100 ml bensiiniä.

Vastaa perustellen, mitä tapahtuu ja miltä seokset näyttävät.

134. Kerro, miten voisit kokeellisesti tunnistaa, kummassa koeputkessa on
a) propanoni ja propanaali
b) sykloheksaani ja tolueeni
c) kaliumkarbonaatti ja kaliumjodidi
d) natriumkloridin vesiliuos ja natriumnitraatin vesiliuos
e) ammoniumkloridi ja natriumkloridi.

135. Partakoneen terän rautapitoisuuden määrittämiseksi terä liuotetaan rikkihappoon, jolloin muodostuu rauta(II)-ioneja. Nämä ionit hapettuvat happamassa liuoksessa rauta(III)-ioneiksi kaliumpermanganaatin, $KMnO_4$, avulla:

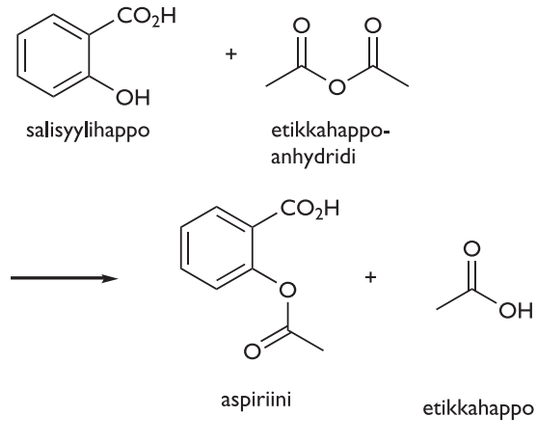
$$MnO_4^- + 5\ Fe^{2+} + 8\ H^+ \rightarrow$$

$$Mn^{2+} + 5\ Fe^{3+} + 4\ H_2O$$

Laske terän rautapitoisuus, kun terän massa oli 0,13 g ja titrauksessa kului 14,2 ml kaliumpermanganaattiliuosta, jonka konsentraatio oli 0,020 mol/l.

136. a) Laske, kuinka paljon sinun on punnittava natriumhydroksidia, kun valmistat 250,0 ml 0,150 M NaOH-liuosta.
b) Miten valmistat a-kohdan liuoksesta 100,0 ml liuosta, jonka konsentraatio on 0,012 M?

137. Aspiriinia valmistetaan salisyylihaposta ja etikkahappoanhydridistä:



Reaktiossa salisyylihappo sekoitetaan etikkahappoanhydridin (kaksinkertainen ainemäärä) joukkoon. Seokseen lisätään muutama tippa rikkihappoa katalyytiksi. Seosta kuumennetaan 15 minuuttia 60 °C:ssa. Reaktioseokseen jää pieni määrä reagoimatonta salisyylihappoa.

Selitä alla olevan taulukon perusteella, miten aspiriinin puhdistamiseen soveltuu
a) sublimointi
b) tislaus
c) kiteytys.

Yhdiste	sulamispiste (°C)	kiehumispiste (°C)	liukoisuus 20 °C:n veteen	liukoisuus 1:1 CH_3CO_2H-vesiseokseen
Salisyylihappo	159,0	211,0 (20 mmHg)	2 g/l	liukenee hyvin
Etikkahappoanhydridi	–73	140	hajoaa etikkahapoksi	hajoaa etikkahapoksi
Aspiriini	136	140 (hajoaa)	3 g/l	liukenee hyvin kuumaan liuokseen, niukkaliukoinen kylmään liuokseen
Etikkahappo	16	118	liukenee hyvin	liukenee hyvin
Rikkihappo	10	337	liukenee hyvin	liukenee hyvin

138. a) Selitä, miten kaasuja kerätään koululaboratoriossa pneumaattisella ammeella.
b) Millaisten kaasujen keräämiseen pneumaattinen amme soveltuu? Anna kaksi esimerkkiä kaasuista, joita voi kerätä kyseisellä menetelmällä. Miten esimerkkikaasujasi voidaan valmistaa?

139. Erään makkaran suolapitoisuus on 1,6 %. Selitä koejärjestelyt, joiden avulla määrität kokeellisesti suolapitoisuuden, kun käytössäsi on tislattua vettä, 0,10 M hopeanitraattiliuosta, 10 % kaliumkromaattiliuosta, 50 ml:n byretti, vaaka, punnitusastia, keitinlaseja, mittalaseja, lasisauva, mittapipettejä ja kuumennusvälineet.

140. Tonic-veden kiniinipitoisuuden määrittämiseksi valmistettiin 6 kpl standardiliuoksia seuraavasti. Kiniinisulfaatin perusliuoksesta ($c = 9{,}0 \cdot 10^{-5}$ mol/dm^3) tehtiin välilaimennos 100 ml:n mittapulloon mittaamalla tarkasti 10 ml perusliuosta ja lisäämällä tislattua vettä merkkiin asti. Välilaimennoksen pitoisuus (konsentraatio) oli siis $9{,}0 \cdot 10^{-6}$ mol/dm^3. Standardiliuokset valmistettiin välilaimennoksesta mittaamalla tarkasti 7,50 ml, 5,00 ml, 3,00 ml, 2,00 ml ja 1,00 ml välilaimennosta 10,0 ml:n mittapulloon ja lisäämällä tislattua vettä merkkiin asti.
a) Laske standardiliuosten konsentraatiot.
b) Tonic-veden kiniinipitoisuuden määrittämiseksi standardiliuoksista mitattiin UV-VIS -spektri aallonpituusalueella 420–270 nm. Kiniinin absorptiomaksimi on 347,5 nm:n kohdalla. Absorptiomaksimia vastaavat absorbanssit kullekin liuokselle on esitetty oheisessa taulukossa. Piirrä standardisuora mittaustulosten perusteella. Standardisuorassa absorptiomaksimit piirretään konsentraation funktiona.

Välilaimennoksen lisäys (ml)	Absorbanssi (347,5 nm)
7,50	0,373
5,00	0,246
3,00	0,165
2,00	0,100
1,00	0,049

c) Tonic-veden kiniinipitoisuuden määrittämiseksi mitattiin tarkasti 5,0 ml hiilihapotonta tonicvettä ja laimennettiin se 50 ml:ksi mittapulloon. Tästä liuoksesta mitattiin UV-VIS -spektri. Absorptiomaksimin 347,5 nm kohdalla absorbanssi oli 0,124. Määritä kiniinipitoisuus kuvaajasi avulla.

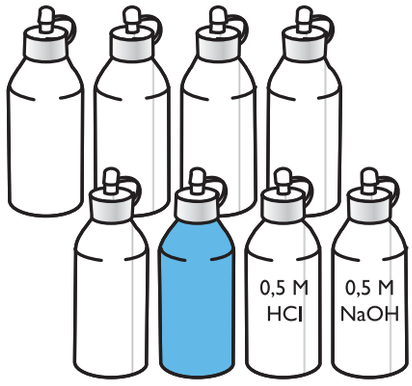
141. Etsi eri lähteistä oheisessa tekstissä esiintyvien menetelmien toimintaperiaatteet. Menetelmät on merkitty tekstiin kursiivilla.

Orgaaniseksi synteesimenetelmäksi pyrittiin kehittämään entsyymin katalysoima amidisidoksen hydrolyysi. Reaktiota tutkittiin muutamalla eri yhdisteellä, jotka tutkimuksen alussa valmistettiin, ja niiden rakenne varmistettiin *NMR-spektroskopialla*. Entsyymireaktioita seurattiin *kaasukromatografilla* ja *ohutkerroskromatografian* avulla. Yllättävänä tuloksena erään lipaasin havaittiin katalysoivan tiettyjen amidisidosten hydrolyysiä. Koska lipaasit yleensä katalysoivat rasvojen esterisidosten hydrolyysiä, entsyymin epäiltiin sisältävän jotain epäpuhtautta. Entsyymi analysoitiin *geelielektroforeesilla*, ja ajon jälkeen geelillä havaittiin lukuisia epäpuhtauksia. Viisi epäpuhtausjuovaa analysoitiin *korkean erotuskyvyn nestekromatografin* ja *massaspektrometrian* avulla. Vertailu kirjastotietokantaan osoitti epäpuhtauksien olevan epäpuhtausentsyymejä. Entsyymiseos puhdistettiin *pylväskromatografisesti* geelisuodatuksen avulla. Osoittautui, että puhdistettu lipaasi katalysoi tiettyjen yhdisteiden amidisidoksen hydrolyysiä.

YLIOPPILASTEHTÄVIÄ

142. Tutkittavana ovat tippapullossa seuraavien suolojen vesiliuokset:
$AgNO_3$, $CuSO_4$, NaCl, Na_2CO_3, NH_4Cl, $Sr(NO_3)_2$. Kaikkien konsentraatio on 0,5 M. Käytettävissä on suolahappoliuosta, natriumhydroksidiliuosta, yleisindikaattoripaperia, pipettejä, koeputkia, krominikkelilankaa ja kaasupoltin. Miten selvität, mitä ainetta kukin pullo sisältää?

K-12 tehtävä 8



143. Magnesiumkloridia käytetään moniin eri tarkoituksiin, muun muassa makean veden akvaarioissa veden kovuuden lisäämiseen. Magnesiumkloridi sisältää kidevettä, jonka tarkka ainemäärä voidaan määrittää hehkuttamalla suolaa upokkaassa, kunnes kidevesi on haihtunut.

Opiskelijan tekemässä määrityksessä mittaustuloksiksi saatiin:

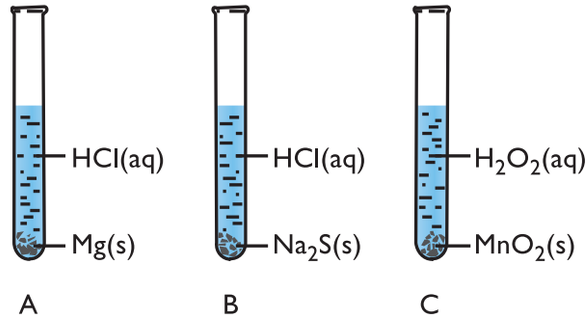
	Massa (g)
Upokas	22,347
Näyte + upokas	25,825
Näyte + upokas ensimmäisen hehkutuksen jälkeen	23,982
Näyte + upokas toisen hehkutuksen jälkeen	23, 976
Näyte + upokas kolmannen hehkutuksen jälkeen	23,977

a) Mistä opiskelija päätteli, että tarvittiin kolme hehkutusta?
b) Laske kideveden ainemäärä näytteestä.
c) Mikä oli kidevedellisen magnesiumkloridin kaava?
d) Erään toisen opiskelijan työssä pieni osa näytteestä oli epähuomiossa roiskahtanut pois upokkaasta hehkutuksen aikana. Miten tämä vaikutti määrityksessä saadun kideveden määrään? Perustele.

K-11 tehtävä 5

144. Tarkastele oheisen kuvan mukaisia koejärjestelyjä.
a) Mitä kaasua koeputkessa A, B ja C vapautuu?
b) Laadi kussakin koeputkessa tapahtuvan reaktion yhtälö.

K-06 tehtävä 7



145. Bariumhydroksidia ja bariumkloridia sisältävä näyte, jonka massa oli 1,6524 g, liuotettiin 100,0 millilitraan 0,200 M suolahappoa. Kun ylimäärä happoa titrattiin NaOH-liuoksella, kulutus oli 10,9 ml. NaOH-liuoksen konsentraation määrittämiseksi 25,0 ml NaOH-liuosta titrattiin samalla suolahappoliuoksella, jolloin sitä kului 28,5 ml. Laske bariumhydroksidin massaprosenttisuus näytteestä.

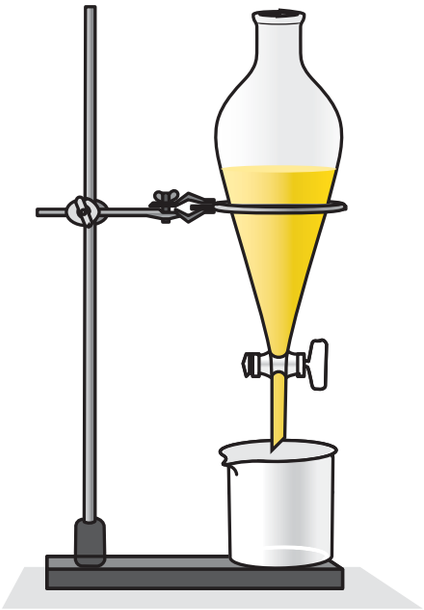
K-08 tehtävä 2

146. Eetteriliuos sisältää bentsoehappoa, butyylibentseeniä ja trietyyliamiinia. Aluksi eetteriliuosta uutettiin erotussuppilossa suolahappoliuoksella. Tällöin yksi edellä mainituista yhdisteistä siirtyi happoliuokseen, joka otettiin talteen astiaan A. Seuraavaksi eetteriliuosta uutettiin NaOH:n vesiliuoksella, jolloin toinen jäljellä olevista yhdisteistä siirtyi vesiliuokseen. Tämä otettiin talteen astiaan B. Jäljelle jäänyt eetteriliuos siirrettiin astiaan C.

a) Perustele kemiallisesti, mitä orgaanista yhdistettä oli astioissa A, B ja C.

b) Miten puhdistat astiassa C olevan aineen?

S-08 tehtävä 7



147. a) Miten valmistat 500 ml $KMnO_4$-liuosta, jonka konsentraatio on noin 0,050 M, kun käytettävissä on 0,333 M varastoliuos kaliumpermanganaattia? Laboratoriossa olevien mittapullojen tilavuudet ovat 100,0 ml, 250,0 ml ja 500,0 ml, ja käytössä olevien täyspipettien tilavuudet ovat 1,00 ml, 5,00 ml, 10,00 ml, 25,00 ml ja 50,00 ml.

b) Saadun liuoksen konsentraatio tarkistettiin punnitsemalla 0,2585 g oksaalihappoa, liuottamalla se rikkihappoon ja titraamalla muodostuva liuos kaliumpermanganaatilla. Reaktiossa oksaalihappo hapettuu hiilidioksidiksi ja permanganaatti-ioni pelkistyy Mn^{2+}-ioniksi:

$$H_2C_2O_4(s) + MnO_4^-(aq) + H^+(aq) \rightarrow CO_2(g) + Mn^{2+}(aq) + H_2O(l)$$

Määritä reaktioyhtälön kertoimet.

c) Mikä oli $KMnO_4$-liouksen tarkka konsentraatio, kun titrauksessa sitä kului 23,15 ml?

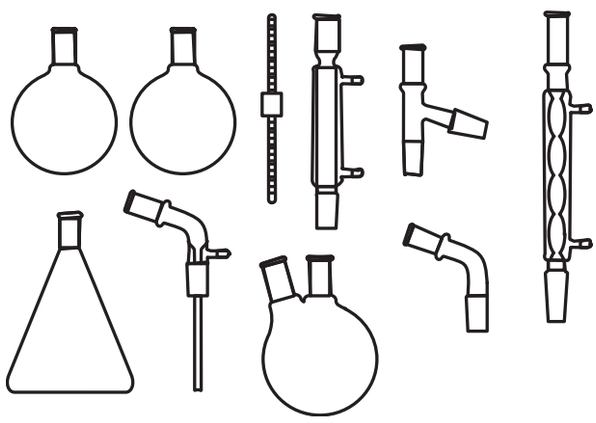
K-08 tehtävä 7

148. Eräässä orgaanisessa synteesissä saatiin seos, jossa haluttua tuotetta, isobutyylikloridia (kp. 69 °C), oli suurin osa. Lisäksi reaktioseos sisälsi hieman synteesin lähtöainetta isobutanolia (kp. 108 °C) ja liuottimena käytettyä eetteriä (kp. 35 °C). Isobutyylikloridi erotettiin seoksesta tislaamalla.

a) Piirrä alla olevia välineitä hyväksi käyttäen tislauslaitteisto.

b) Kuvaa tislauksen kulku.

K-01 tehtävä 7



149. Kuvaa jotain yksinkertaista tapaa, jonka avulla voit osoittaa, että
a) etikkahappo on heikko happo
b) rauta on epäjalo metalli
c) kiinteä litiumkloridi on ioniyhdiste
d) valkea jauhemainen aine on natriumkarbonaattia.

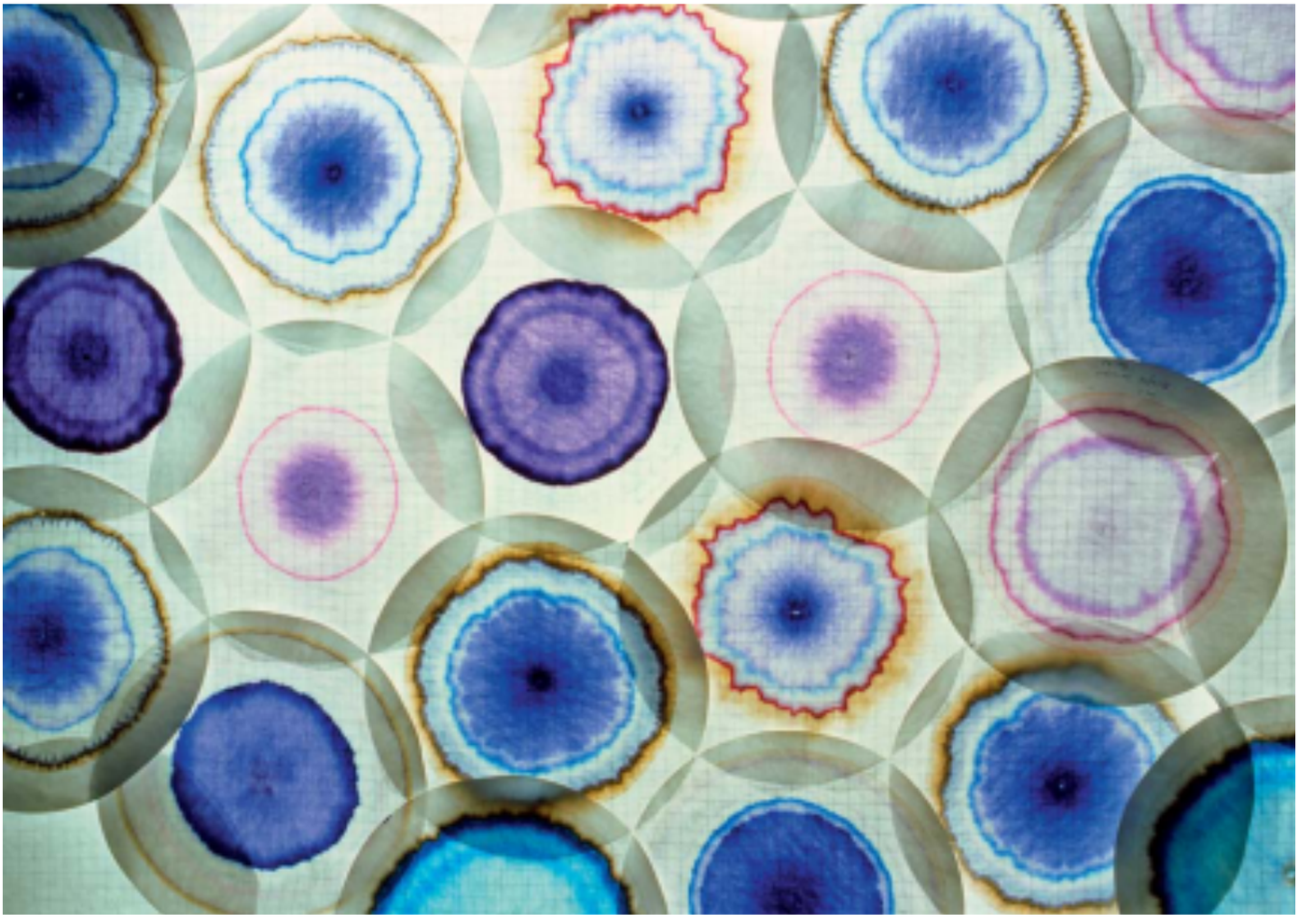
S-04 tehtävä 7

150. Analysoitava valkoinen jauhe saattoi olla joko kaliumkloridia, kaliumfluoridia tai kaliumkarbonaattia. Kun jauheesta otettu pieni näyte liuotettiin veteen, todettiin liuoksen kastetun lakmuspaperin värjäytyvän siniseksi. Mitään näkyvää reaktiota ei tapahtunut, kun liuokseen lisättiin suolahappoa. Mikä valkoinen jauhe oli? Perustele valintasi.

S-06 tehtävä 10

151. Laboratoriossa happea valmistetaan vetyperoksidista käyttäen mangaanidioksidia katalysaattorina. Laadi reaktioyhtälö ja selvitä piirroksen avulla, miten kehittyvä kaasu voidaan kerätä. Miten voidaan yksinkertaisella kokeella varmistua siitä, että näin saatu kaasu on happea? Mitä tietoja tarvitset, jotta saat selville kaasun massan?

K-05 tehtävä 7



Paperikromatografialla voidaan tutkia esimerkiksi väriaineseosta. Seosta ja liuotinta tiputetaan suodatinpaperin keskelle. Eri väriaineet kulkevat liuotinrintaman mukana eri nopeuksilla erottuen toisistaan.

OSA 2

JAKSO 6

Kemian sovellukset

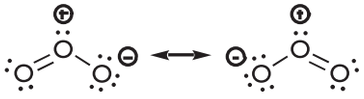
9 Ympäristökemia

10 Biokemia

11 Materiaalikemia

9 Ympäristökemia

Kun vastaat ympäristökemian tehtävään, pohdi aihetta monesta näkökulmasta. Miten tarkasteltavan yhdisteen kemiallinen rakenne selittää sen vaikutusta ympäristöön? Miten rakenne vaikuttaa sen reaktioihin, hajoamiseen ja liikkumiseen ympäristössä? Onko aine välittömästi myrkyllinen vai tulevatko haitat esiin pidemmällä aikavälillä? Miten haittoja voidaan vähentää?



Otsonimolekyyli koostuu kolmesta happiatomista. Keskimmäinen happiatomi on sp^2-hybridisoitunut, ja sillä on yksi vapaa elektronipari. Molekyyli taipuu siis V:n muotoon. Muodon ja osittaisvarausten takia molekyyli on poolinen. Ks. nuolimerkinnät s. 112 ja 92.

Hyödyllinen ja haitallinen otsoni

Stratosfäärin eli yläilmakehän otsoni suojaa eliöitä UV-säteilyltä, joka vaurioittaa esimerkiksi DNA:ta ja proteiineja. Näiden vaurioituminen voi aiheuttaa esimerkiksi syöpää, kudosvaurioita (esim. ihon palaminen) ja fotosynteesin heikkenemistä. Ilman stratosfäärin otsonia elämä maan pinnalla ei olisi mahdollista.

Alailmakehän otsoni taas on eliöille haitallista. Sitä syntyy ilmansaasteiden reagoidessa ilman hapen kanssa auringonvalon vaikutuksesta.

Luonnollinen otsonin syntyminen ja tuhoutuminen stratosfäärissä

Kun happimolekyyli absorboi lyhytaaltoista UVC-säteilyä ($\lambda < 240$ nm), se hajoaa kahdeksi happiradikaaliksi. Nämä reagoivat happimolekyylien kanssa ja muodostavat otsonia:

$$O_2 \xrightarrow{h\nu,\ \lambda < 240\ \text{nm}} O\cdot + O\cdot$$

$$O\cdot + O_2 \rightarrow O_3$$

Radikaali on atomi tai molekyyli, jolla on ulkokuorellaan pariton elektroni. Paritonta elektronia merkitään pisteellä. Radikaali pyrkii pysyvään rakenteeseen ja reagoi siksi herkästi.

Syntynyt otsoni absorboi pidempiaaltoista UVB-säteilyä ($\lambda = 240$–320 nm) ja hajoaa sen vaikutuksesta takaisin happimolekyyliksi ja happiradikaaliksi:

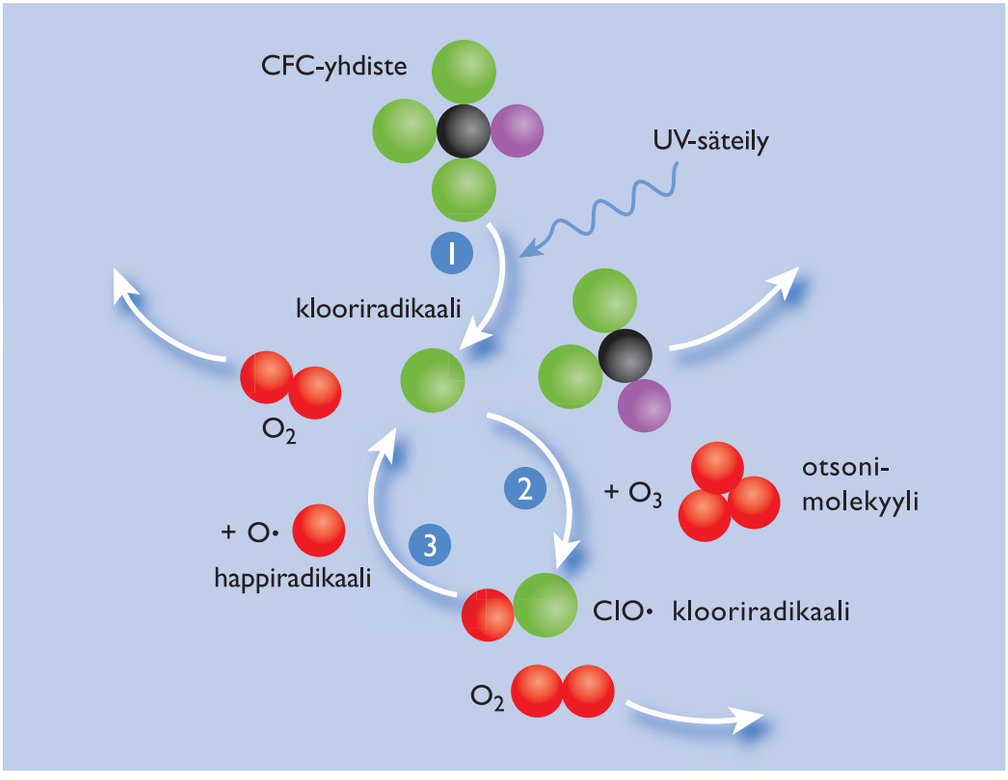
$$O_3 \xrightarrow{h\nu,\ 240 < \lambda < 320\ \text{nm}} O\cdot + O_2$$

Fluoratut hiilivedyt (HFC-yhdisteet) eivät ole otsonikerrokselle haitallisia, sillä ne ovat erittäin pysyviä. Ne ovat kuitenkin voimakkaita kasvihuonekaasuja.

Myös bromatuista yhdisteistä irtoavat bromiradikaalit katalysoivat otsonin hajoamista.

Otsonikato

CFC-yhdisteet (chlorofluorocarbon) ovat klooria, fluoria ja vetyä sisältäviä hiiliyhdisteitä, joita on käytetty esimerkiksi kylmälaitteissa. Koska CFC-yhdisteet ovat pysyviä, ne ehtivät ennen hajoamistaan kulkeutua maan pinnalta stratosfääriin. CFC-yhdisteistä irtoaa halogeeniradikaaleja, jotka katalysoivat otsonin hajoamisreaktiota. Otsonikerros ohenee eli syntyy otsonikato.



(1) UV-säteily irrottaa CFC-yhdisteestä klooriradikaalin, joka reagoi otsonimolekyylin (2) kanssa. (3) Muodostuu toinen radikaali, ClO·, joka reagoi UV-säteilyn seurauksena syntyneen happiradikaalin kanssa. Klooriradikaali vapautuu ja on valmis katalysoimaan uuden otsonimolekyylin hajoamisen.

Aktiivista klooria poistuu stratosfääristä, kun kloorimonoksidi (ClO) reagoi typen oksidien kanssa muodostaen kloorinitraattia ($ClONO_2$). Se voi kuitenkin vapautua uudelleen reaktioissa, joita tapahtuu pienten rikki- ja typpihappoa sisältävien jääkiteiden pinnalla. Napa-alueiden yläpuolella ilma on riittävän kylmää näiden hiukkasten syntymiseen. Siksi otsoniaukko on suurimmillaan napojen yläpuolella.

Vuonna 1987 allekirjoitetussa Montrealin pöytäkirjassa sovittiin otsonikerrosta heikentävien aineiden käytön ja valmistuksen vähentämisestä. Vuonna 2010 kiellettiin CFC-yhdisteiden, halonien, hiilitetrakloridin ja 1,1,1-trikloorietaanin valmistus ja kulutus. Kloori- ja bromiradikaalit poistuvat kuitenkin ilmakehästä hitaasti, joten otsonikato on edelleen ongelma erityisesti napa-alueilla.

ESIMERKKI

Klooriyhdisteitä

a) Piirrä otsonikerroksen ohenemiseen liittyvän kloorimonoksidin ($ClO\cdot$) ja desinfioinnissa käytettävän kloriitti-ionin (ClO^-) Lewisin rakenteet, joissa kaikki atomien ulkoelektronit ovat näkyvissä. Mikä on näiden rakenteiden ero?

b) Piirrä reaktiomekanismi fluoritrikloorimetaanin (CCl_3F) pilkkoutumiselle kloori- ja fluoridikloorimetaaniradikaaleiksi.

Ratkaisu

a) Kloorimonoksidin rakenne voidaan päätellä suoraan kloori- ja happiatomien elektronirakenteista. Kloriitti-ionissa happi on vastaanottanut yhden elektronin (sininen).

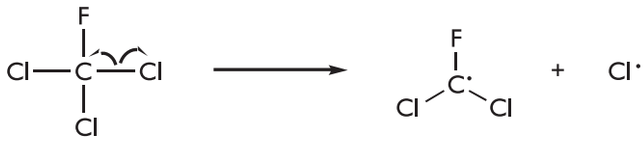
klooriatomi happiatomi

kloorimonoksidi

kloriitti-ioni

Rakenteissa on yhden elektronin ero.

b)



Alailmakehän otsoni vaurioittaa eliöitä ja ekosysteemejä

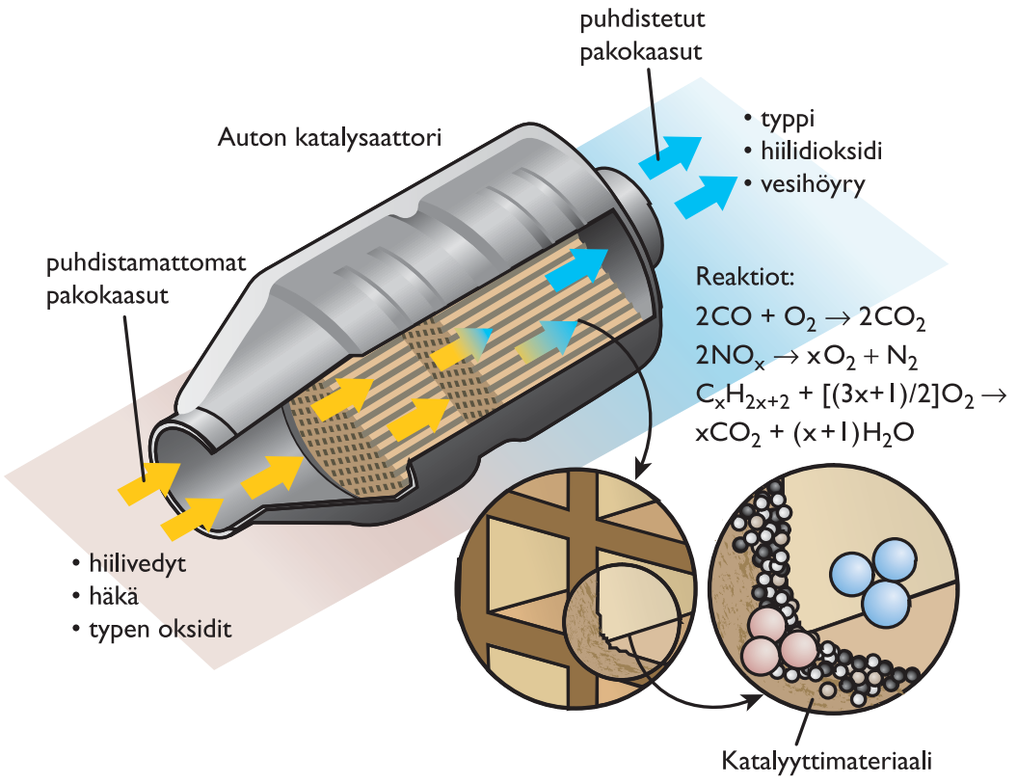
Otsoni on voimakas hapetin, joten se vaurioittaa herkkiä kudoksia, kuten hengityselimistöä ja kasvien pinta- ja yhteyttämissolukkoa. Alailmakehän otsonia syntyy erityisesti liikenteen päästöjen, kuten typen oksidien, reagoidessa ilmakehän kaasujen kanssa auringon valon vaikutuksesta:

$$NO_2 \rightarrow NO + O\cdot$$

$$O\cdot + O_2 \xrightarrow{h\nu,\ \lambda < 410\text{nm}} O_3$$

Myös muut liikenteen päästöt, kuten hiilimonoksidi, metaani ja haihtuvat hiilivedyt (VOCs, volatile organic compounds), vaikuttavat otsonin muodostumiseen valokemiallisissa reaktioissa.

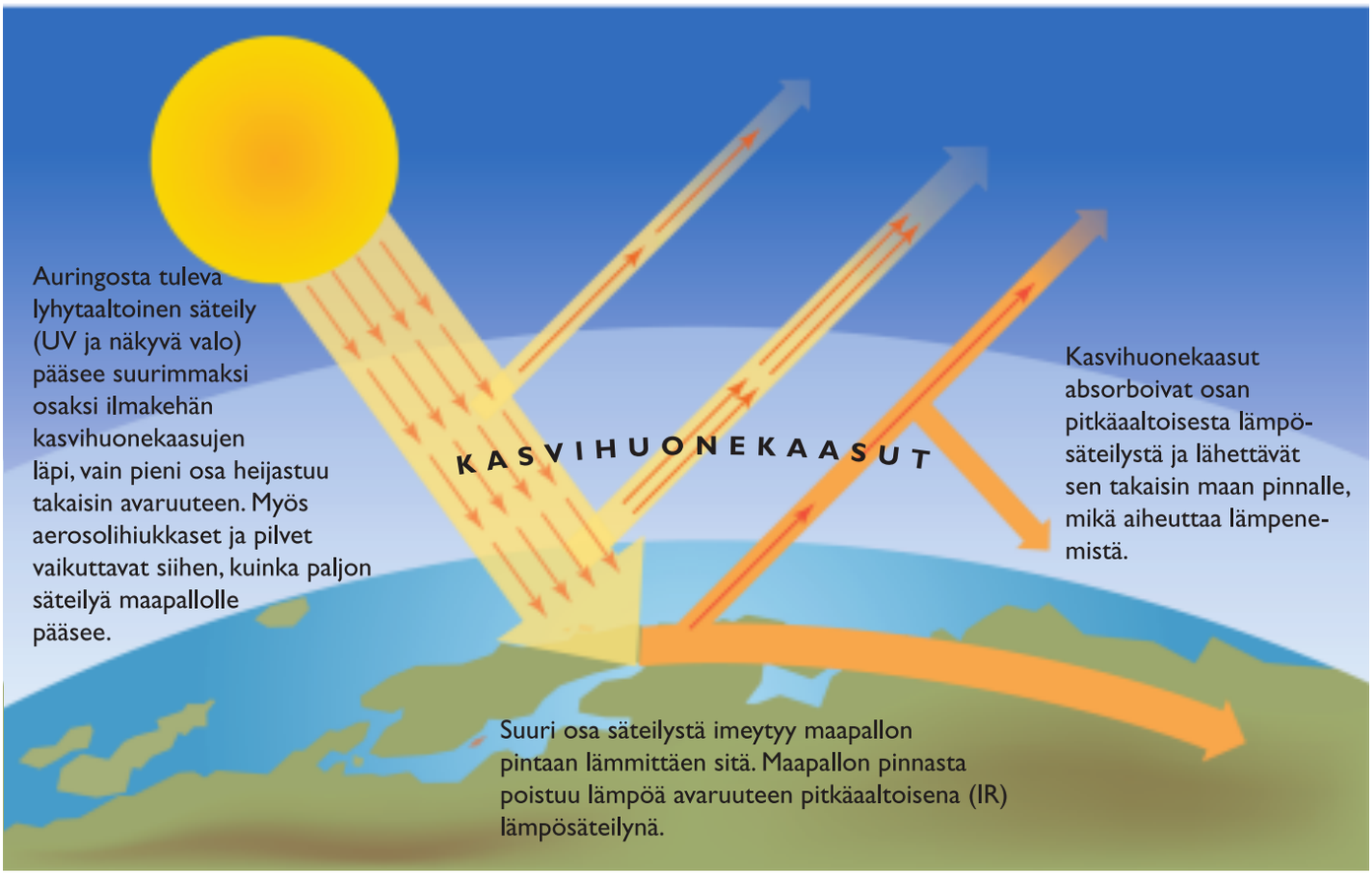
Liikenteen päästöjä voidaan vähentää auton pakoputkeen asennettavilla katalysaattoreilla, joissa platinalla pinnoitetut osat katalysoivat hiilimonoksidin ja hiilivetyjen hapettumisreaktioita hiilidioksidiksi ja vedeksi. Rodiumilla pinnoitetut osat puolestaan katalysoivat typen oksidien pelkistymistä typeksi ja hapeksi.



Auton katalysaattorin toimintaperiaate.

Ilmastonmuutos johtuu kasvihuoneilmiön kiihtymisestä

Kasvihuoneilmiö on luonnollinen ilmiö

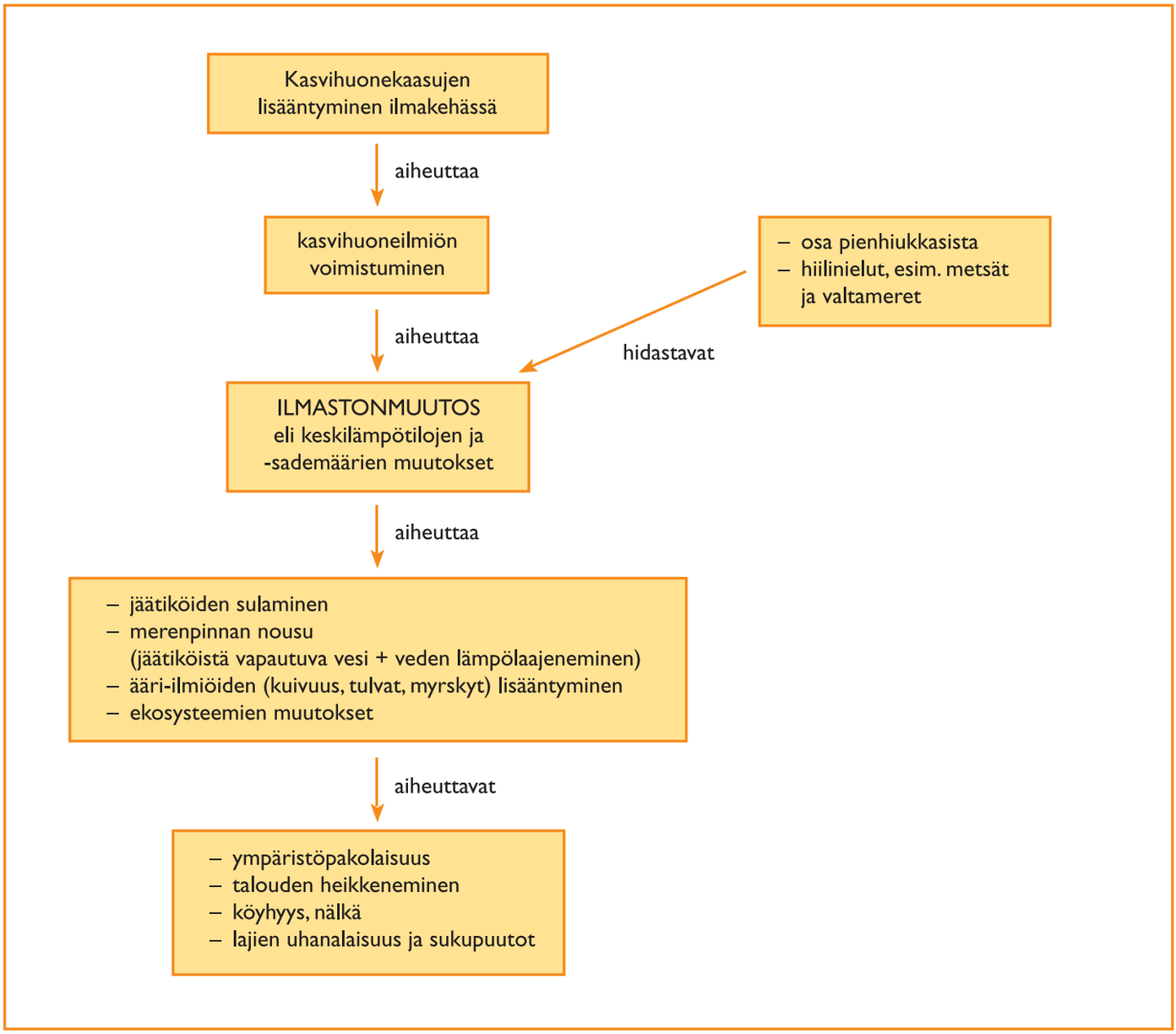


Kasvihuoneilmiö lämmittää maapalloa, sillä kasvihuonekaasut estävät lämpösäteilyn karkaamista avaruuteen. Ilman kasvihuoneilmiötä maapallolla olisi yli 30 °C nykyistä kylmempää.

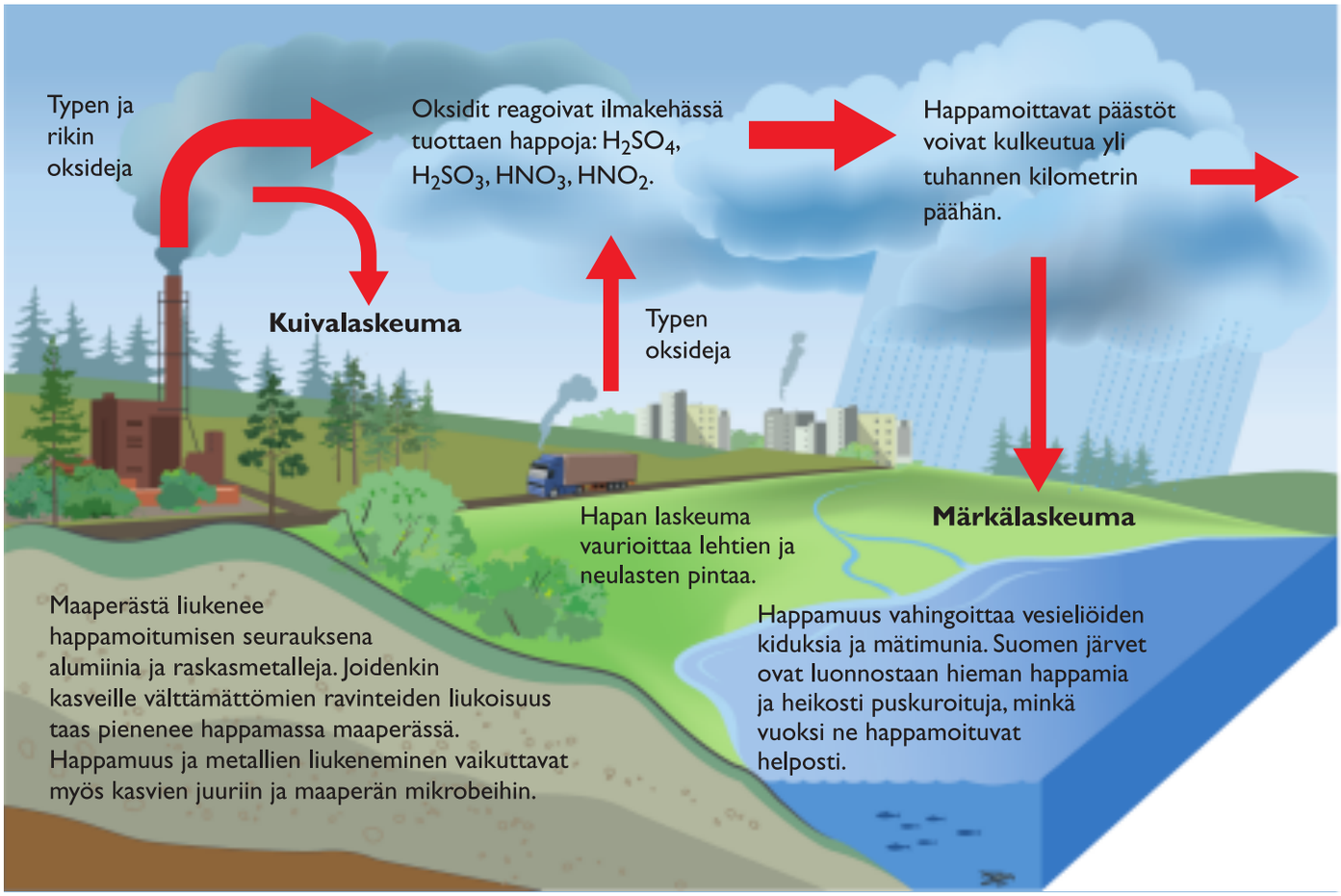
Vesihöyry on merkittävä kasvihuonekaasu, mutta ihmisen toiminta vaikuttaa vähän sen määrään ilmakehässä.

Kasvihuonekaasu	Tärkeimmät ihmisen aiheuttamat päästölähteet
Hiilidioksidi	Fossiilisten polttoaineiden polttaminen.
Metaani	Hapettomissa oloissa hajoava orgaaninen aine, esim. kaatopaikat, riisipellot, märehtijöiden ruuansulatus.
Alailmakehän otsoni	Liikenne, teollisuus.
Typpioksiduuli eli dityppioksidi	Ylimääräisen typpilannoitteen hajoaminen maaperässä.
Halogenoidut hiilivedyt	Teollisuus, kylmälaitteet.

Ilmastonmuutoksen syyt ja ennustetut vaikutukset



Epämetallioksidit happamoittavat ekosysteemejä



Happamoittavien päästöjen vaikutukset ympäristöön.

Typen ja rikin oksideja syntyy polttoprosesseissa, esimerkiksi energiantuotannossa. Rikin oksidit ovat peräisin fossiilisista polttoaineista ja rikkipitoisista mineraaleista. Typen oksideja taas syntyy, kun ilman typpikaasu reagoi hapen kanssa korkeissa lämpötiloissa esimerkiksi auton moottorissa. Rikin oksidit voidaan poistaa savukaasuista esimerkiksi johtamalla savu kalkkiveden läpi. Tällöin muodostuu kalsiumsulfaattia (kipsiä), joka voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennusteollisuudessa.

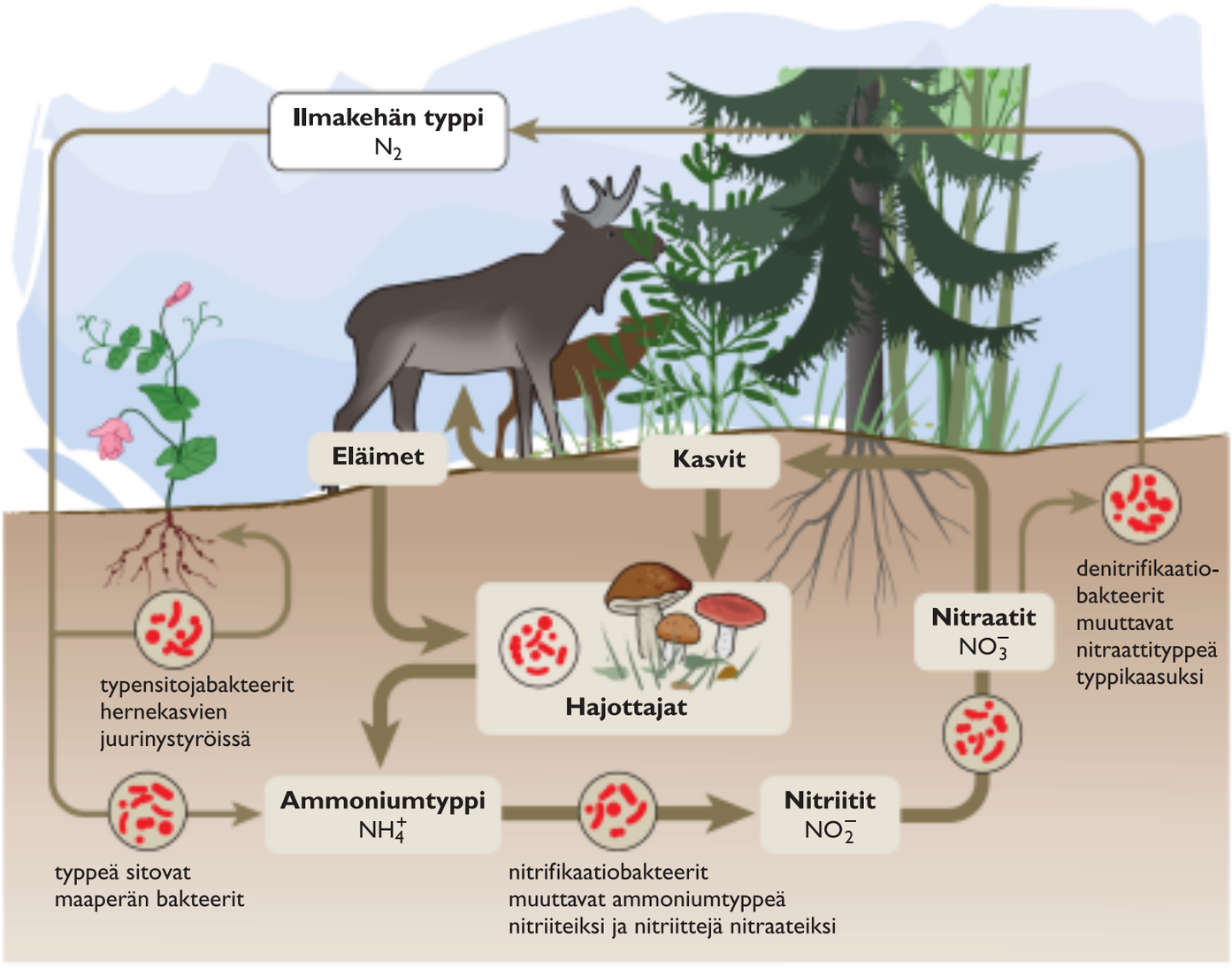
$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

$$CaCO_3 + H_2SO_3 \rightarrow CaSO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$CaSO_3 + \tfrac{1}{2}\, O_2 + 2\, H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2\, H_2O$$

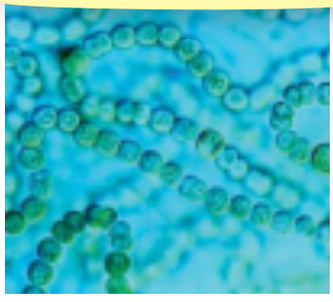
Typen oksidien poistaminen on hankalampaa, sillä niitä vapautuu paljon pistelähteistä eli yksittäisistä autoista. Katalysaattorien avulla typen oksidien päästöjä on kuitenkin pystytty vähentämään. Happamoittavien päästöjen määrä on siis viime vuosikymmeninä vähentynyt teollisuusmaissa. Happamoituminen on kansainvälinen ongelma, sillä happamoittavat päästöt voivat kulkeutua ilmassa tuhansia kilometrejä.

Typen kierto



Typen kierto.

Sinilevinä tunnetut sinibakteerit pystyvät sitomaan ilmakehän typpeä, minkä vuoksi ne voivat lisääntyä meressä räjähdysmäisesti, jos muita ravinteita on tarjolla riittävästi.

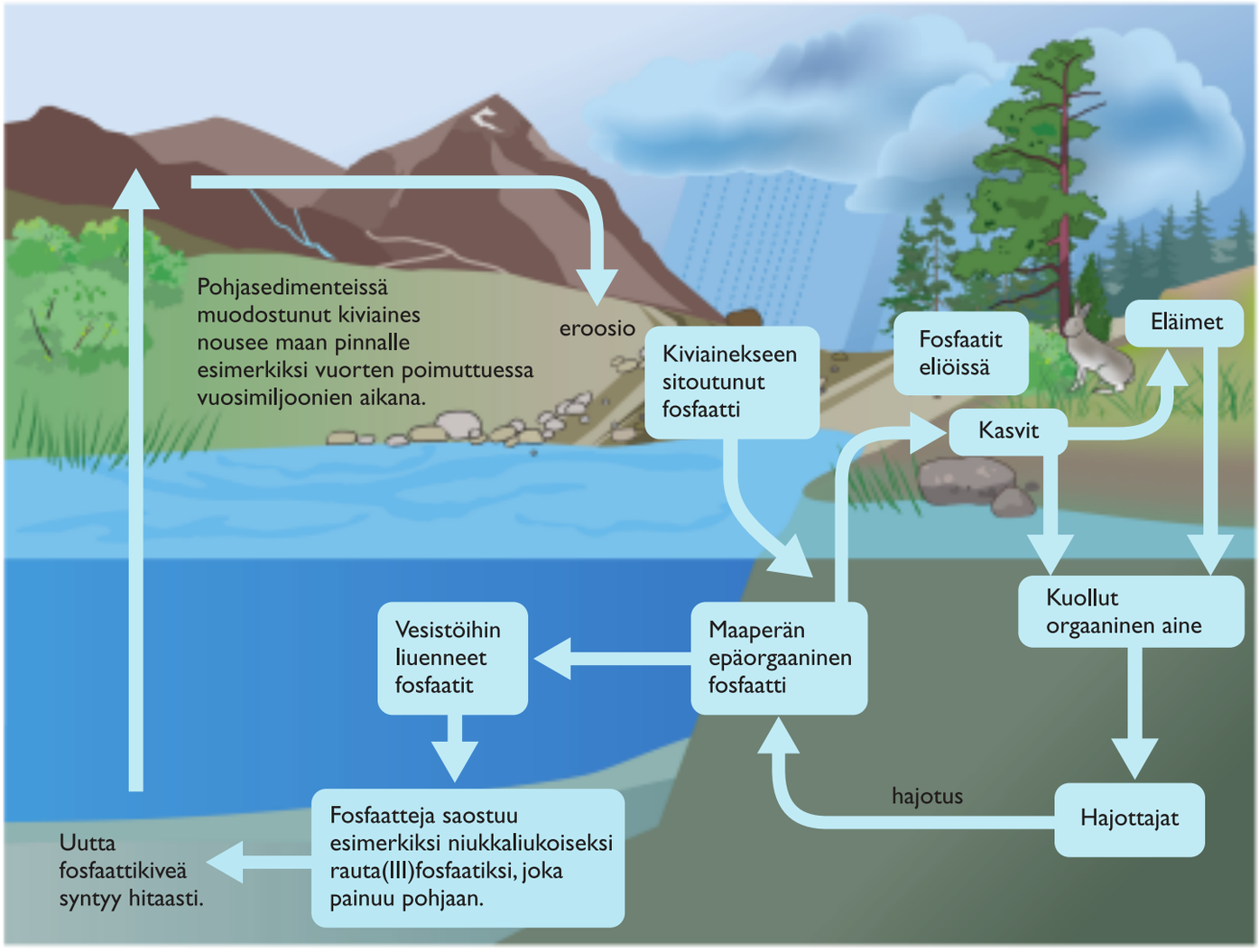


Sinilevä eli sinibakteeri.

Typpi kiertää ilmakehän, vesistöjen ja maaperän välillä. Eliöt tarvitsevat sitä esimerkiksi aminohappoihin. Ilmakehässä typpeä on noin 78 %, mutta useimmat eliöt eivät pysty käyttämään typpikaasua sellaisenaan. Eräiden kasvien, esimerkiksi hernekasvien juurinystyröissä elää symbioottisia bakteereja, jotka pystyvät sitomaan ilmakehän typpeä ammoniumtypeksi. Maaperän bakteerit muuttavat ammoniumtyppeä nitriiteiksi ja edelleen nitraateiksi, joita kasvit pystyvät käyttämään typen lähteenä. Eläimet saavat typen ravinnostaan esimerkiksi aminohappoihin sitoutuneena. Typpeä palaa ilmakehään denitrifikaatiobakteerien toiminnan seurauksena. Ne pelkistävät nitraatteja typpikaasuksi.

Typpi on kasveille tärkeä ravinne, minkä vuoksi sitä käytetään viljelykasvien lannoittamiseen. Myös vesikasvit hyötyvät runsaasta ravinnepitoisuudesta, ja siksi vesistöihin valuneet ylimääräiset lannoitteet aiheuttavat rehevöitymistä.

Fosforin kierto



Fosforin kierto.

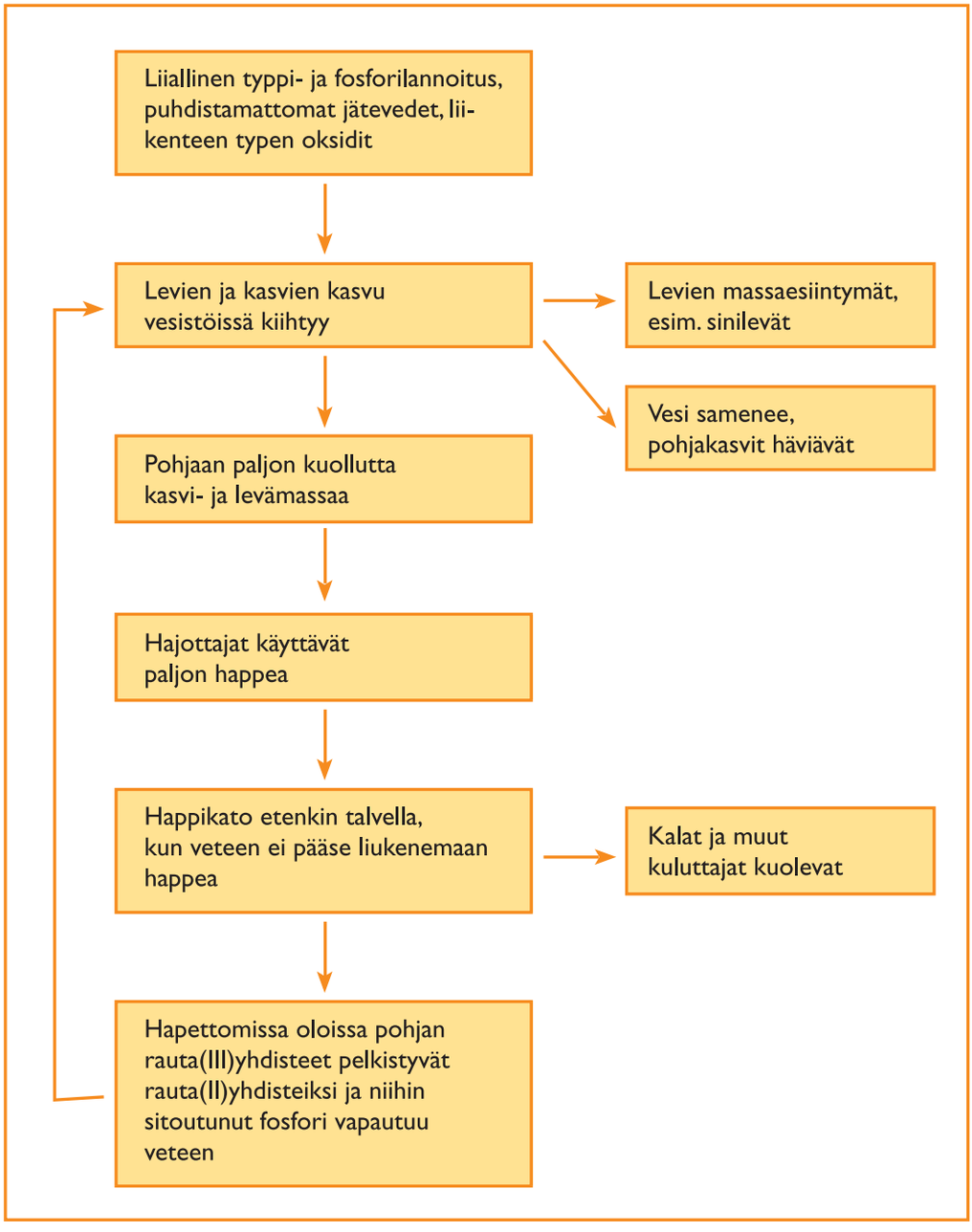
Alkuainefosforia ei esiinny luonnossa, sillä se hapettuu helposti fosfaateiksi.

Fosfori kiertää maaperän, kallioperän ja eliöiden välillä. Sitä irtoaa eliöiden käyttöön hitaasti rapautumalla, ja se saostuu vähitellen vesistöjen pohjasedimentteihin. Niistä muodostuu vuosituhansien kuluessa uutta fosforipitoista kiviainesta. Ihminen on nopeuttanut fosforin kiertoa huomattavasti louhimalla fosfaattipitoista kiviainesta lannoitteeksi. Vesistöihin joutunut ylimääräinen fosfori on ympäristölle haitallista, sillä se aiheuttaa rehevöitymistä.

Eliöissä fosforia on monissa yhdisteissä:
- DNA, RNA
- ATP (lyhytaikainen energiavarasto)
- fosfolipidit solukalvossa
- hydroksiapatiitti luissa.

Typen ja fosforin kiertojen häiriintyminen aiheuttaa rehevöitymistä

Typpi ja fosfori ovat kasveille tärkeitä ravinteita. Ne ovat usein vesistöissä minimitekijöitä, eli niiden määrä rajoittaa kasvien ja levien kasvua.

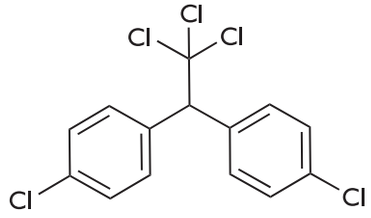


PAH-yhdisteet eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt koostuvat yhteenliittyneistä aromaattisista renkaista. Niitä syntyy esimerkiksi epätäydellisessä palamisessa.

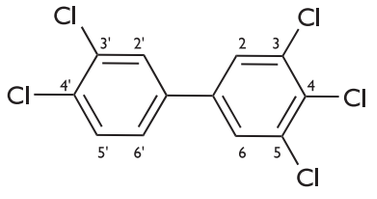
Ympäristömyrkyt ovat ihmiselle tai eliöille haitallisia yhdisteitä ja alkuaineita

Hitaasti hajoavat orgaaniset ympäristömyrkyt (POPs, persistent organic pollutants)

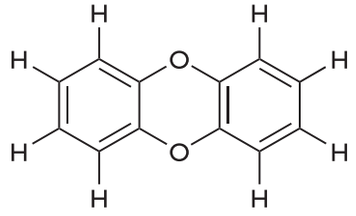
- Monet aromaattisia yhdisteitä, joista osa kloorattuja, esim. DDT, PCB-yhdisteet (polyklooratut bifenyylit), PAH-yhdisteet, dioksiinit, tietyt furaanit.
- Hajoavat hitaasti ja ovat monesti rasvaliukoisia
  → läpäisevät solukalvoja, kertyvät rasvakudokseen ja rikastuvat ravintoketjussa.
- Luonnossa erityisen haitallisia ravintoketjun huipulla oleville eliöille, esim. petolinnuille (munankuoren haurastuminen) ja hylkeille (kohdunkuroumatauti).
- Vaikutukset ihmisiin ja eläimiin vaihtelevia, mm. karsinogeenisuus (syöpää aiheuttavia), teratogeenisuus (sikiövauriot), hormonitoiminnan häirintä.
- DDT:tä käytetty aiemmin hyönteismyrkkynä, PCB-yhdisteitä käytetty mm. muuntajissa.
- Dioksiineja ja furaaneja syntyy epätäydellisessä palamisessa, esimerkiksi PVC-muovin palaessa. Niitä esiintyy myös epäpuhtauksina muissa kemikaaleissa.



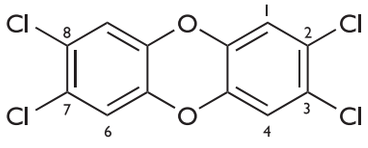
DDT = diklooridifenyylitrikloorietaani eli
4,4'-(2,2,2-trikloorietaani-1,1-diyyli)bis(klooribentseeni)



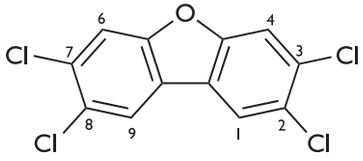
3,3',4,4',5-pentaklooribifenyyli (PCB126)



Dioksiinien yleisrakenne
(0-8 vetyatomia voi olla korvattu klooriatomilla)



2,3,7,8-tetraklooridibentso-*p*-dioksiini (TCDD)
(toksisin dioksiini)



2,3,7,8-tetraklooridibentsofuraani

Furaani

Esimerkkejä hitaasti hajoavista orgaanisista ympäristömyrkyistä.

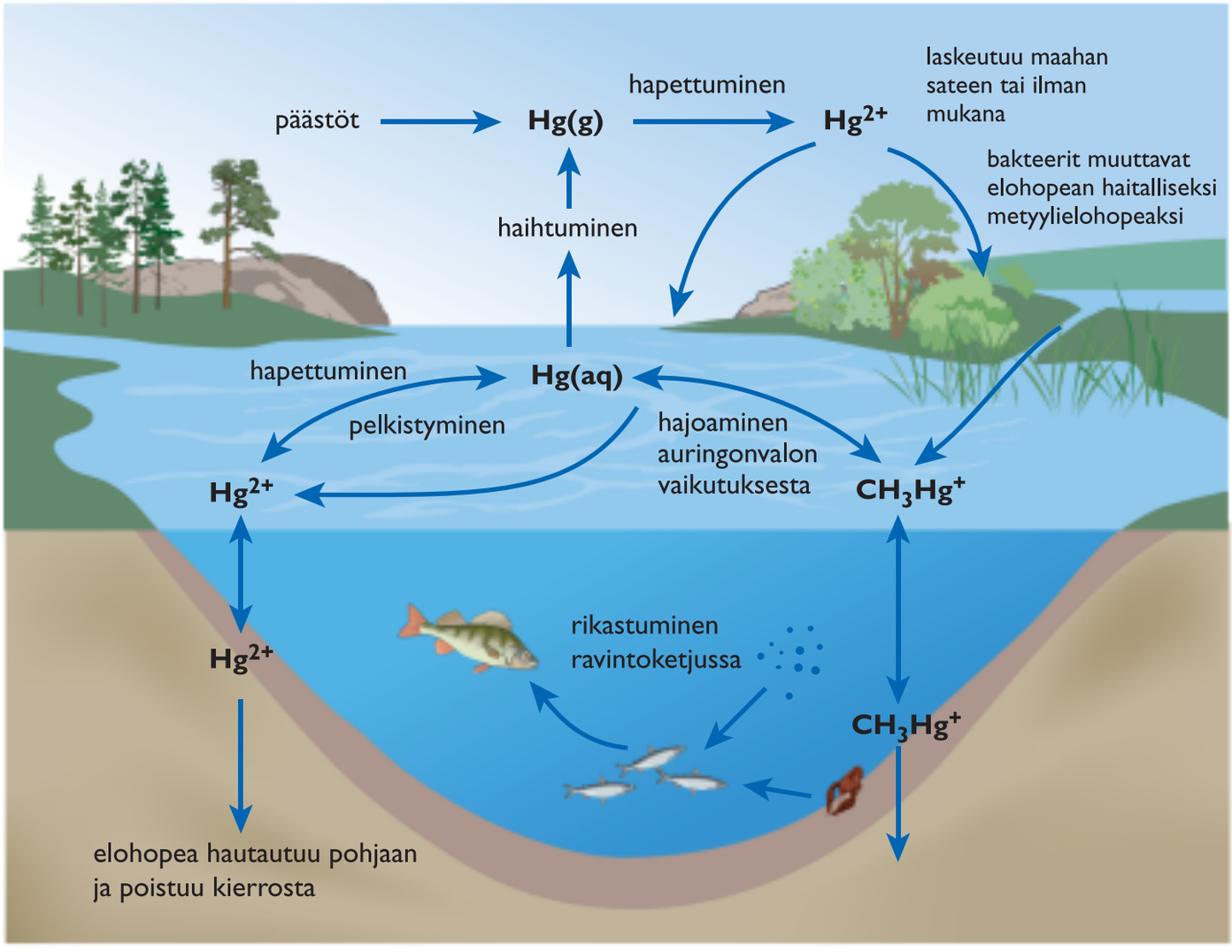
IUPAC ei määrittele käsitettä raskasmetalli.

Raskasmetallit

- Metalleja, joiden tiheys on yli 5 g/cm^3. Ympäristön kannalta ongelmallisimpia raskasmetalleja ovat elohopea, lyijy ja kadmium.
- Luonnossa yleensä sitoutuneina kallio- ja maaperään, ihminen lisää vapautumista elollisen luonnon kiertoon.
- Alkuaineita, joten eivät hajoa luonnossa; sitoutuvat kuitenkin hitaasti maaperään ja sedimentteihin.

Elohopea, Hg

- Vapautuu mm. fossiilisista polttoaineista, puunjalostuksesta ja kloorin valmistuksesta.
- Haitallisin muoto metyylielohopea, jota bakteerit valmistavat → rasvaliukoisena se läpäisee solukalvot ja rikastuu ravintoketjussa.
- Happamoituminen ja veden alle joutuminen (esim. tekoaltaiden rakentaminen) vapauttavat maaperään sitoutunutta elohopeaa.



Elohopea ympäristössä.

Lyijy, Pb

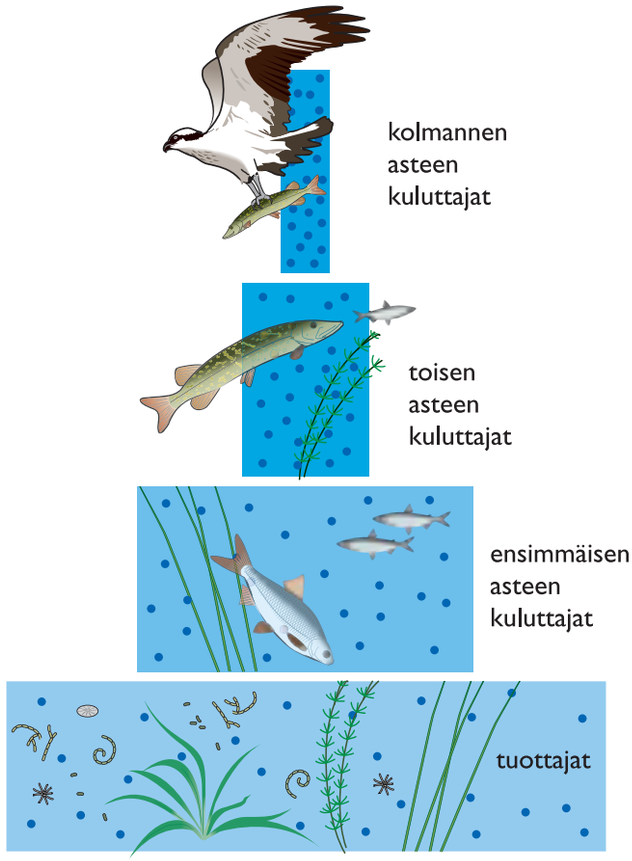
- Vapautuu mm. fossiilisia polttoaineita poltettaessa. Nykyisin on mahdollista käyttää lyijytöntä bensiiniä.
- Lyijyhaulit ovat kiellettyjä vesilintujen metsästyksessä.
- Vaikuttaa keskushermostoon, erityisen herkästi lapsilla.

Kadmium, Cd

- Lähteitä ovat fosfaattilannoitteet, paristot, akut, tupakka ja väriaineet.
- Happamoituminen parantaa kadmiumin liukoisuutta maaperässä.
- Kertyy erityisesti munuaisiin.
- On karsinogeeni, voi vaurioittaa myös luustoa ja hengityselimistöä.

Monet ympäristömyrkyt rikastuvat ravintoketjussa

Ympäristömyrkky voi olla välittömästi toksinen eli myrkyllinen. Tällainen on esimerkiksi syanidi. Ongelmallisimpia ovat kuitenkin ympäristössä hitaasti hajoavat myrkyt, jotka kertyvät rasvakudokseen ja sisäelimiin ja rikastuvat siten ravintoketjussa. Kuvassa ympäristömyrkkyjen määrää on havainnollistettu mustilla pisteillä. Palkkien leveys kuvaa kunkin ravintoketjun tason biomassaa.



Ympäristömyrkkyjen rikastuminen.

TEHTÄVIÄ

152. Monesti ympäristöongelmia pyritään ratkaisemaan korjaamalla ehkäisemisen sijaan. Miten realistisia seuraavat ehdotukset ovat? Perustele.

a) Otsonikatoa voisi korjata valmistamalla valtavan määrän otsonia, joka vapautetaan ilmakehään.

b) Ilmastonmuutosta voisi torjua lannoittamalla valtameriä, jolloin kasviplankton lisääntyisi ja sitoisi ilmakehästä hiilidioksidia yhteyttäessään.

c) Ilmastonmuutoksen torjumiseksi voisi lisätä ilmakehän valoa heijastavien pienhiukkasten ja rikkidioksidin määrää (nämä viilentävät ilmastoa).

153. Autojen polttomoottoreissa syntyviä haitallisia aineita voidaan vähentää katalysaattorin avulla. Pakoputkeen asennettavassa katalysaattorissa platinalla pinnoitetut osat katalysoivat hiilimonoksidin ja hiilivetyjen hapettumisreaktioita hiilidioksidiksi ja vedeksi. Rodiumilla pinnoitetut osat puolestaan katalysoivat typen oksidien pelkistymistä typeksi ja hapeksi.

a) Kirjoita reaktioyhtälöt, joissa typpidioksidi, hiilimonoksidi ja bentseeni pelkistyvät tai hapettuvat katalysaattorissa.

b) Mitä haittaa näistä aineista on ihmisille ja muille eliöille?

c) Selvitä esimerkiksi internetistä, mitä tarkoittaa valokemiallinen sumu.

154. Happamoituminen johtuu pääasiassa rikin ja typen oksideista.

a) Kirjoita reaktioyhtälöt reaktioille, joissa ne muodostavat happoja. Ota typen oksideista tarkasteluun N_2O_5.

b) Mitä tarkoittavat termit kuivalaskeuma ja märkälaskeuma?

c) Mitä haittaa happamoitumisesta on eliöille ja ekosysteemeille?

155. Ympäristökemiassa takaisinkytkentä tarkoittaa sitä, että ympäristöongelman aiheuttama muutos ympäristössä kiihdyttää tai jarruttaa kyseisen ongelman etenemistä. Millaisia takaisinkytkentöjä liittyy

a) ilmastonmuutokseen

b) rehevöitymiseen?

156. DDT on tehokas torjunta-aine, jonka kehittäjä Paul Müller palkittiin keksinnöstään Nobelin palkinnolla vuonna 1948. DDT avaa hyönteisten hermosolujen natriumkanavia, mutta ei vaikuta muiden eliöiden hermosoluihin. Sitä on käytetty jopa henkilökohtaisen hygienian hoidossa, sillä se ei ole ihmiselle välittömästi myrkyllinen.

a) Millä perusteella voi sanoa, että DDT:n tehosta riemuitseminen oli ennenaikaista?

b) Mitä natriumkanavien aukeaminen saa aikaan hermosolussa? Mihin hyönteinen kuolee?

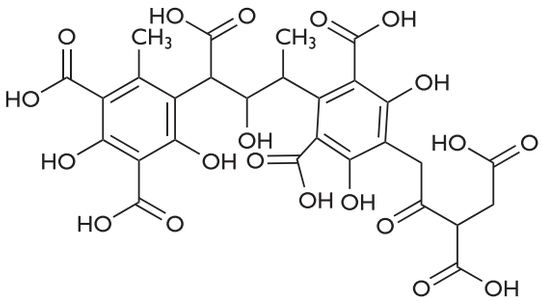
c) DDT ja monet muut orgaaniset ympäristömyrkyt häiritsevät ihmisen hormonitoimintaa. Päättele DDT:n rakenteen perusteella, mihin tämä voisi perustua?

d) Päättele DDT:n rakenteen perusteella, mihin perustuvat sen hidas hajoaminen ja kertyminen rasvakudokseen.

e) Missä olosuhteissa DDT:n käyttö voisi olla puolustettavissa?

157. Nykyään kemikaaleilta vaaditaan tarkat tiedot niiden turvallisuudesta, ennen kuin niitä saa käyttää esimerkiksi torjunta-aineina tai lääkkeinä. Eläinkokeissa niille määritetään esimerkiksi LD50- ja ED50-arvot, jotka kertovat, kuinka suuri annos ainetta riittää tappamaan (LD = lethal dose) tai vaikuttamaan (ED = effective dose) puoleen tutkituista eliöistä. Miksi tällainen testaus ei välttämättä yksin riitä paljastamaan kaikkein haitallisimpia aineita?

158. a) Humuspitoisessa maaperässä ja vesistöissä on humushappoja, jotka toimivat puskuriyhdisteinä. Mitä tämä tarkoittaa? Päättele esimerkkiyhdisteen rakenteen perusteella, mihin perustuu yhdisteen kyky toimia puskurina.



b) Pahoin happamoituneita järviä on hoidettu kalkituksilla. Mihin tämä perustuu?

c) Typen ja rikin oksidien päästöjä on saatu vähennettyä teknisin keinoin. Selvitä tai päättele, miten.

d) Miksi happamoituminen koskee erityisesti suomalaista luontoa?

e) Miksi happamoituminen on kansainvälinen ongelma, vaikka sen vaikutukset näkyvät vain joillakin alueilla?

159. Hiilidioksidin liukeneminen.

Kaasufaasissa olevan aineen absorboitumista veteen voidaan kuvata reaktioyhtälöllä

$$A(g) \rightleftharpoons A(aq)$$

ja kaasumaisen ja liuenneen aineen välistä tasapainoa voidaan kuvata tasapainovakiolla

$$K_A = \frac{[A(aq)]}{p_A},$$

jossa p_A on kyseisen kaasun osapaine ilmassa.

Hiilidioksidin liuetessa veteen tapahtuu seuraavat reaktiot:

$$CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(aq) \qquad K_{C1} = 3{,}400 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{atm}}$$

$$CO_2(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \qquad K_{C2} = 4{,}283 \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad K_{C3} = 4{,}687 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

Tasapainovakioiden arvot koskevat NTP-olosuhteita, ja oletetaan, että tehtävän reaktiot tapahtuvat NTP-olosuhteissa. (Huomaa, että NTP-olosuhteissa $K_w = 0{,}114 \cdot 10^{-14}\ (\text{mol/l})^2$.

a) 1960-luvulla ilman hiilidioksidipitoisuus oli noin 315 ppm. Laske sadeveden pH olettaen, että hiilidioksidin liukeneminen on tasapainotilassa eikä veteen ole liuennut muita aineita. Vihje: muista liuoksen elektroneutraalisuus eli se, että liuoksen positiivisesti ja negatiivisesti varautuneiden ionien varaukset kumoavat toisensa eli [positiiviset ionit] = [negatiiviset ionit].

b) Ihminen on lisännyt ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, ja se on nykyään noin 390 ppm. Laske sadeveden pH-arvo käyttäen a-kohdan oletuksia.

c) Hiilidioksidin liukeneminen valtameriin aiheuttaa valtamerten happamoitumista. Sen on havaittu vaikuttavan erityisesti simpukoihin, koralleihin, äyriäisiin ja joihinkin kovakuorisiin planktoneliöihin. Miksi juuri nämä eliöryhmät ovat alttiita happamoitumiselle?

d) Miksi valtameren happamoitumista ei voida ennustaa samalla tavalla kuin sadeveden happamoitumista?

YLIOPPILASTEHTÄVIÄ

160. a) Otsonin vähentyminen ylemmissä ilmakerroksissa on luonnon kannalta haitallinen ilmiö. Mitkä ovat tärkeimmät kemialliset tekijät, jotka johtavat otsonikatoon?

b) Otsoni on voimakas hapetin ja hapettaa jodidin jodiksi:

$O_3 + 2\ KI + H_2O \rightarrow I_2 + 2\ KOH + O_2$

Reaktioita voidaan käyttää otsonin määrän selville saamiseen. Menetelmässä vapautunut jodi titrataan natriumtiosulfaattiliuoksella:

$I_2 + 2\ Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + NaI$

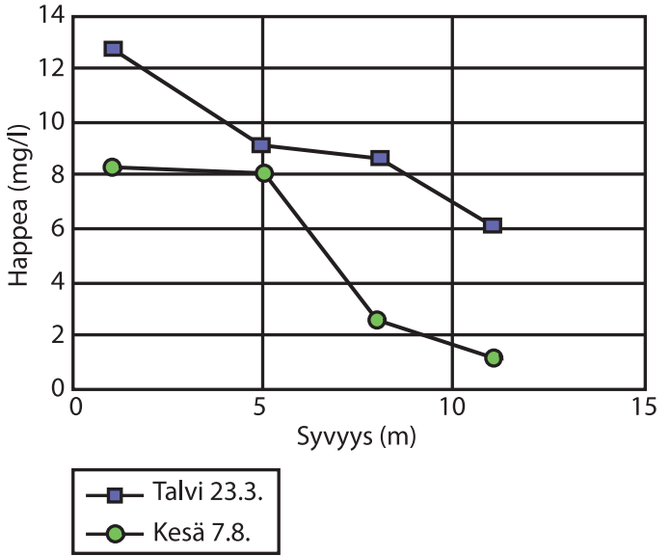
Kuinka monta grammaa otsonia näyte sisälsi, kun titrauksessa käytettyä 0,15 M natriumtiosulfaattia kului 11,2 ml? Mitkä aineet hapettuvat ja mitkä pelkistyvät näissä reaktioissa?

K-97 tehtävä 3

161. Ojajärvi on pieni vähäravinteinen järvi Lopen kalastusalueella. Sen tilaa on seurattu mm. määrittämällä veden happipitoisuutta.

a) Tarkastele luonnonvesien happipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Käytä apuna oheisia mittaustuloksia. (4 p.)

Lopen Ojajärven happipitoisuus



Vesinäytteestä voidaan liuennut happi määrittää seuraavalla menetelmällä:

i. Emäksiseen vesinäytteeseen lisätään mangaanikloridiliuosta, jolloin saostuu valkoista mangaanihydroksidia $Mn(OH)_2$.

ii. Näytteeseen liuennut happi hapettaa muodostuneen mangaanihydroksidisaostuman mangaani(IV)oksidihydroksidiksi $MnO(OH)_2$. Samalla saostuman väri muuttuu ruskeaksi. Ruskean värin voimakkuus riippuu veden happipitoisuudesta.

iii. Seokseen lisätään jodidiliuosta, ja seos tehdään happamaksi. Tällöin saostuma liukenee mangaanin pelkistyessä takaisin hapetusluvulle +II. Samalla vapautuu jodia, ja liuoksen väri muuttuu keltaiseksi.

iv. Saadusta happamasta liuoksesta jodi määritetään titraamalla tiosulfaattiliuoksella käyttäen indikaattorina tärkkelystä. Titrausreaktiossa tiosulfaatti-ioni $S_2O_3^{2-}$ pelkistää jodin ja hapettuu samalla itse tetrationaatti-ioniksi $S_4O_6^{2-}$.

b) Kirjoita vastaavat reaktioyhtälöt (i–iv). (3 p.)

c) Laske vesinäytteen happipitoisuus, kun vesinäytteen tilavuus oli 100 ml, tiosulfaattiliuoksen konsentraatio 0,0100 M ja tiosulfaattiliuoksen kulutus titrauksessa 12,9 ml. (2 p.)

K-09 tehtävä +12

162. Esitä kemiallinen perustelu seuraaville väitteille:

a) fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta
b) sadeveden happamuus johtuu hiilidioksidista
c) vihreät kasvit vähentävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta
d) hiilidioksidi on normaaliolosuhteissa kaasu.

S-03 tehtävä1

163. Ympäristöön joutuu usein haitallisia aineita. Valitse kohdista a–e kolme ja selvitä, mistä nämä aineet tai yhdisteet ovat peräisin, miten ne voivat vaikuttaa ekosysteemiin ja ihmiseen sekä miten niiden pääsyä ympäristöön voidaan vähentää.

a) Fosfaatit
b) Radioaktiiviset aineet
c) Klooratut hiilivedyt (DDT ja PCB)
d) Elohopeayhdisteet
e) Lyijy

K-01 tehtävä +8 / biologia

164. Fossiiliset polttoaineet. Tarkastele myös fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvia ympäristöhaittoja ja keinoja näiden haittojen vähentämiseksi.

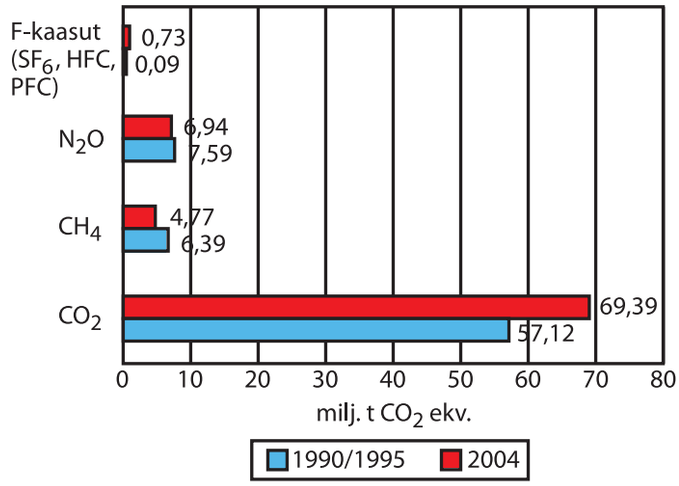
S-04 tehtävä +8

165. Veden rakenne aineen eri olomuodoissa. Miten vesimolekyylin rakenne vaikuttaa veden kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin? Anna esimerkkejä veden rakenteesta johtuvista ilmiöistä luonnossa.

S-05 tehtävä +8

166. Kioton sopimuksen mukaan sopijavaltiot tekevät vuosittain YK:lle raportin, joka sisältää tiedot maan kasvihuonepäästöistä. Suomessa Tilastokeskuksen laatima inventaario sisältää vuosittaiset päästötiedot seuraavista kasvihuonekaasuista: hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, HFC-yhdisteet (fluorihiilivedyt), PFC-yhdisteet (perfluorihiilivedyt) ja rikkiheksafluoridi, SF_6.

Eri kasvihuonekaasujen aiheuttamaa lämmitysvaikutusta voidaan verrata hiilidioksidiekvivalentteina, joka saadaan muuttamalla kasvihuonekaasujen pitoisuudet vastaavaksi määräksi hiilidioksidia. Alla olevassa kuvassa on esitetty kasvihuonekaasujen päästöt vuosina 1990 (F-kaasujen osalta 1995) ja 2004.

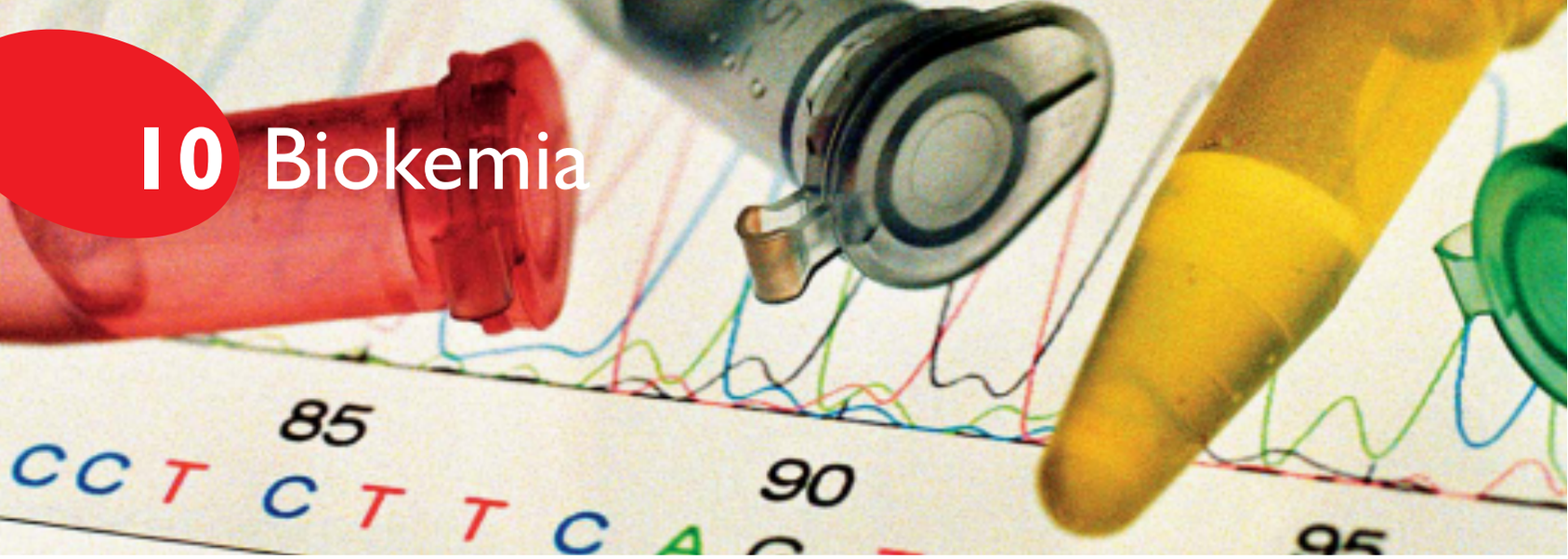


a) Tarkastele edellä mainittujen kasvihuonekaasujen päästölähteitä ja päästöjen vähentämismahdollisuuksia. Mitkä seikat ovat vaikuttaneet päästöjen määrässä havaittuihin muutoksiin? (7 p.)
b) Hiilidioksidin GWP100-arvo on 1, ja metaanin GWP100-arvo on 23. Selitä, mistä johtuvat erot näiden kasvihuonekaasujen GWP-kertoimien välillä. (2 p.)

S-07 tehtävä +12

167. Puhtaan veden riittävyys ja vesistöjen saastumisen vähentäminen ovat tulevaisuuden suuria haasteita maapallolla. Veden kulutuksen rajoittamisen ohella tarvitaan vesien tehokasta puhdistamista. Tarkastele, millaisia kemiallisia ja biologisia menetelmiä voidaan käyttää juoma- ja talousveden valmistamiseen raakavedestä sekä yhdyskuntajätevesien puhdistamiseen.

K-11 tehtävä +11



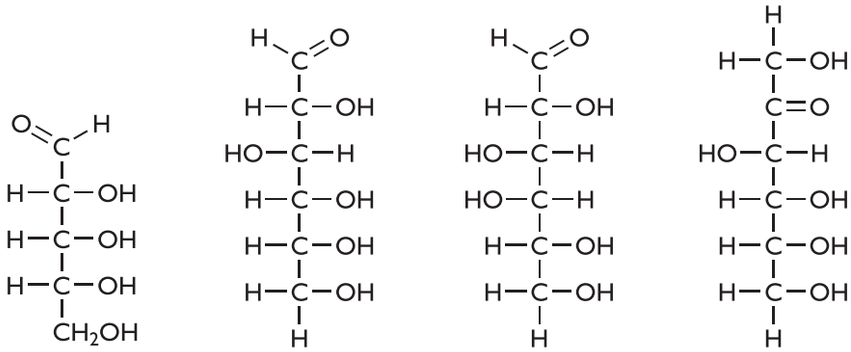
10 Biokemia

Solut ja eliöt koostuvat suurelta osin biomolekyyleistä: proteiineista, hiilihydraateista ja lipideistä. Kiinnitä erityistä huomiota molekyylien toiminnallisiin ryhmiin ja molekyylien välisiin sidoksiin. Molekyylin vuorovaikutukset ja reaktiot toisten molekyylien kanssa mahdollistavat esimerkiksi informaation säilyttämisen ja molekyyleihin perustuvan viestinnän. Vaikka molekyylit ovat suuria, niihin pätevät aivan samat säännöt kuin pienempiinkin orgaanisiin molekyyleihin!

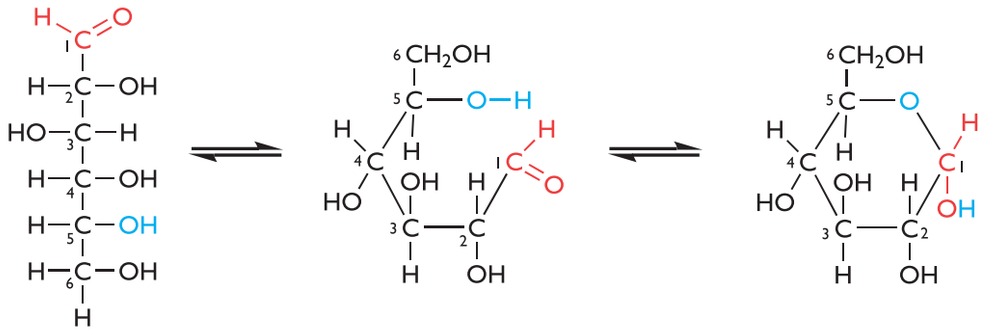
Hiilihydraatit rakentuvat monosakkarideista

Hiilihydraatin perusosa on monosakkaridi. Kahdesta monosakkaridista muodostuu disakkarideja, jotka muodostavat edelleen oligosakkarideja ja polysakkarideja eli pitkiä hiilihydraattiketjuja.

Muutaman sokeriyksikön muodostamia sokeriketjuja kutsutaan oligosakkarideiksi ja pitkiä, useiden kymmenien tai satojen yksikköjen ketjuja kutsutaan polysakkarideiksi.

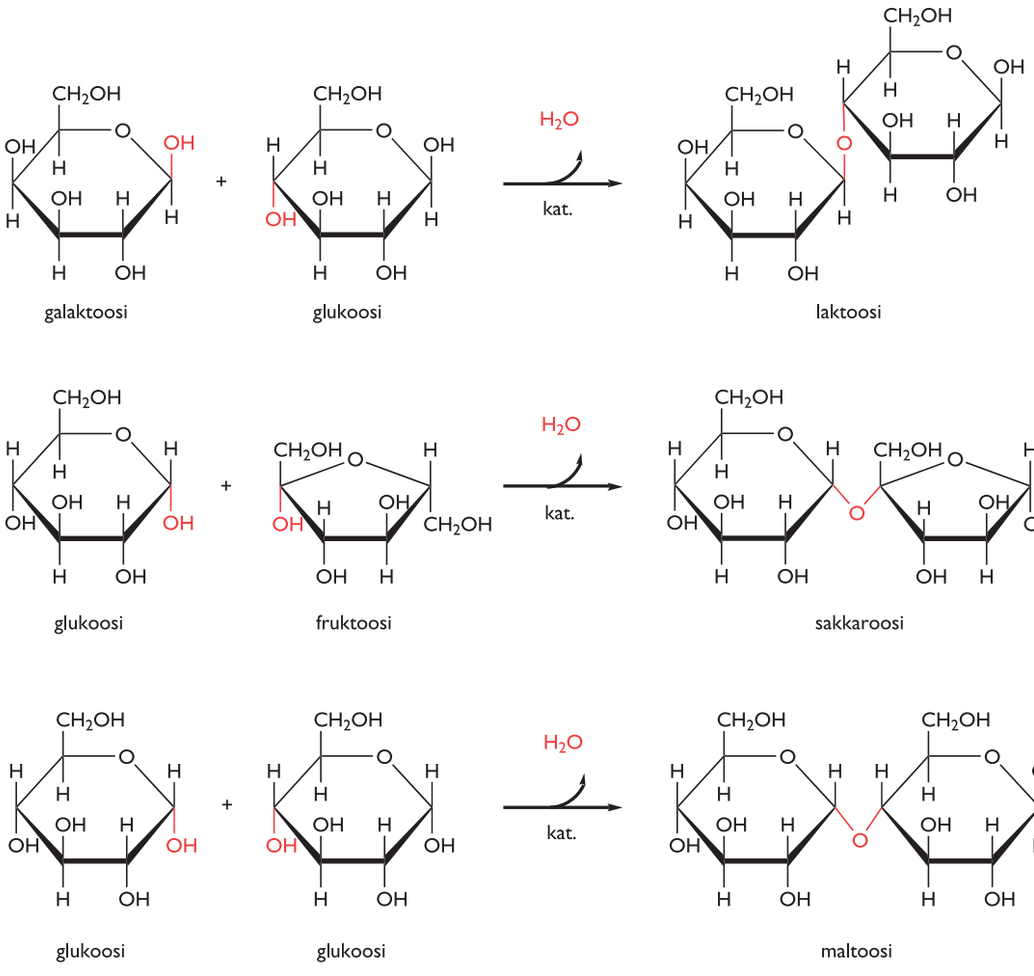


Esimerkkejä monosakkarideista. Monosakkarideissa hiiliketjuun on liittynyt useita –OH-ryhmiä ja yksi aldehydi- tai ketoniryhmä, jonka mukaan monosakkaridit jaetaan aldooseihin (esim. glukoosi) ja ketooseihin (esim. fruktoosi). Monosakkarideissa on useita asymmetrisiä hiiliatomeja. Jos kauimpana aldehydi- tai ketoniryhmästä sijaitsevan asymmetriakeskuksen –OH-ryhmä on oikealla puolella, on kyseessä D-sokeri, jos se on vasemmalla, kyseessä on L-sokeri. Luonnossa esiintyvät sokerit ovat pääasiassa D-muotoa.



Vesiliuoksissa monosakkaridit esiintyvät yleensä viisi- tai kuusijäsenisinä renkaina. Rengas syntyy, kun avoketjuisen muodon yksi hydroksyyliryhmä reagoi aldehydi- tai ketoryhmän kanssa.

Kuusirenkaiset monosakkaridit piirretään nykyään yleensä tuolikonformaatiossa, koska se kuvaa todellista rakennetta parhaiten. Tässä kirjassa käytämme kuitenkin selvyyden vuoksi kuusikulmion muotoisia renkaita.

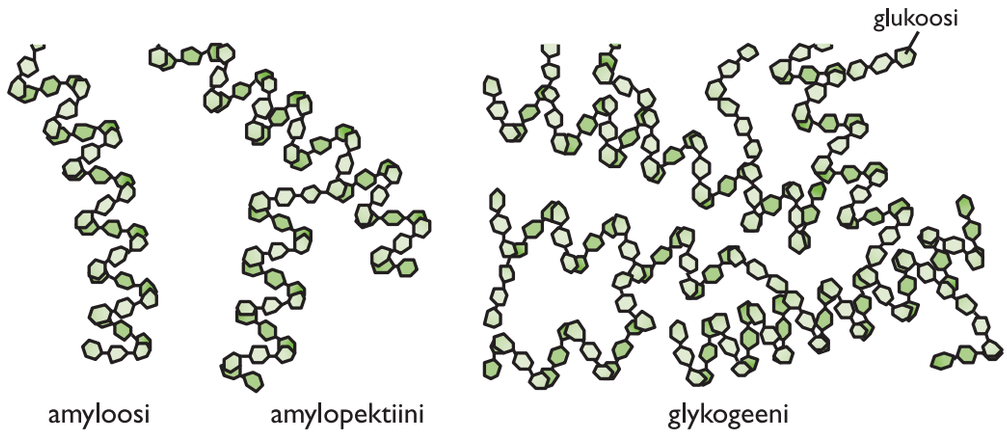


Disakkaridi muodostuu kahdesta monosakkaridista kondensaatioreaktiossa.

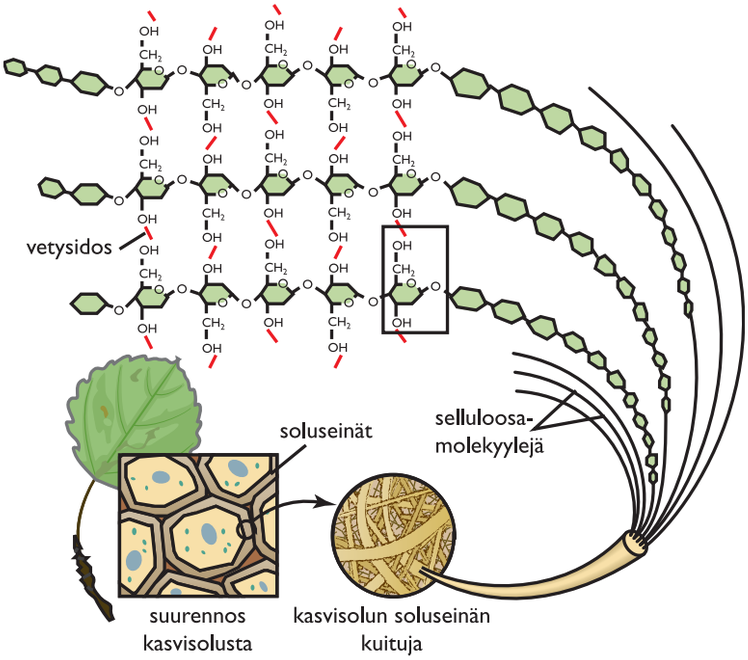
Insuliinihormoni lisää glykogeenin muodostumista, glukagoni puolestaan saa aikaan sen pilkkoutumisen glukoosiksi. Nämä hormonit säätelevät siis veren glukoosipitoisuutta.

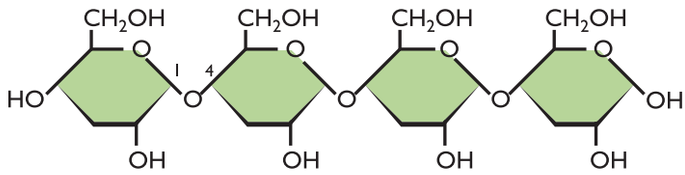
Polysakkaridit, kuten tärkkelys, selluloosa ja glykogeeni, ovat tärkeitä rakenne- ja varastomolekyylejä

Tärkkelys on kasvien tapa varastoida glukoosia. Tärkkelys koostuu haarautuneesta amylopektiinistä ja suoraketjuisesta amyloosista, jotka muodostuvat glukoosiketjuista. Ruoansulatuksessa amylaasientsyymi ja muut entsyymit pilkkovat tärkkelystä, jolloin syntyy lopulta glukoosia. Glykogeeni on puolestaan eläinsolujen varastomolekyyli.

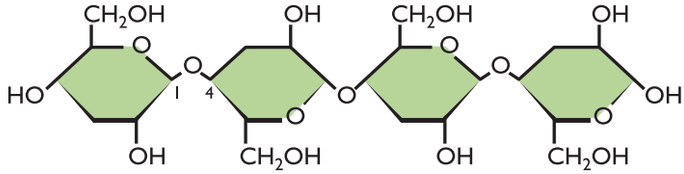


Tärkkelys koostuu haarautuneesta amylopektiinistä ja suoraketjuisesta amyloosista. Glykogeeni on eläinsolujen varastomolekyyli.





Tärkkelys: glukoosiyksiköt ovat ketjussa samoin päin.



Selluloosa: joka toinen glukoosiyksikkö on ketjussa ”ylösalaisin”.

Selluloosa, tärkkelys ja glykogeeni koostuvat glukoosiyksiköistä. Selluloosamolekyylit sitoutuvat toisiinsa vetysidoksin. Tärkkelysmolekyylit kiertyvät itsensä ympäri.

Tärkkelys on sokeria parempi varastomolekyyli, sillä se ei liukene solulimaan, eikä siten väkevöitä solunestettä. Se ei myöskään suuren kokonsa vuoksi siirry solukalvon läpi.

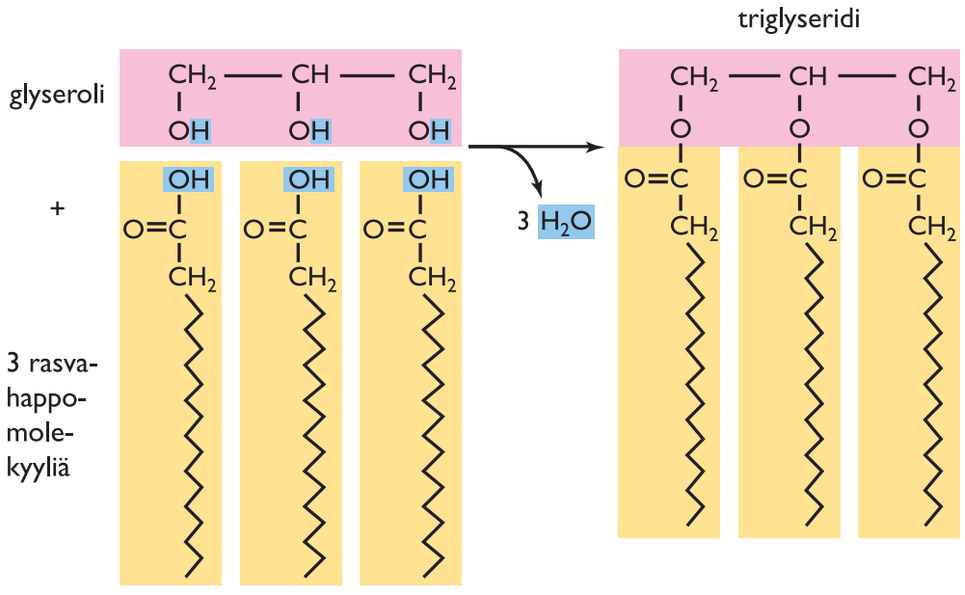
Kasvien soluseinissä on paljon selluloosaa, joka koostuu pitkistä glukoosiketjuista. Selluloosassa glukoosimolekyylit ovat sitoutuneet toisiinsa eri tavalla kuin tärkkelyksessä ja glykogeenissa. Selluloosa on erittäin lujaa, sillä selluloosamolekyylit pysyvät tiiviisti yhdessä niiden välisten vetysidosten ansiosta. Ihmisen elimistössä ei ole selluloosaa pilkkovia entsyymejä, joten selluloosa säilyy ruoansulatuksessa melko vahingoittumattomana. Tällaiset heikosti sulavat aineet toimivat ravintokuituina.

Rasvat, steroidit ja fosfolipidit kuuluvat lipideihin

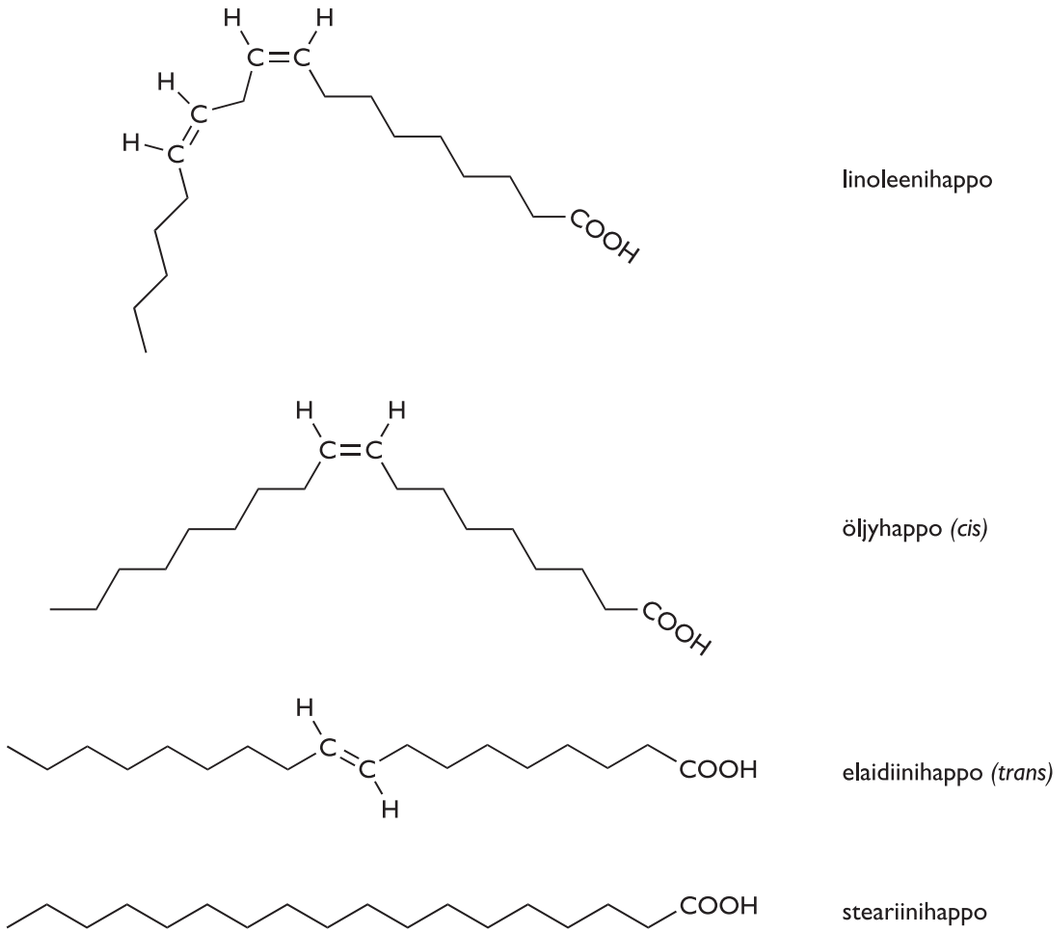
Lipidit sisältävät rakenteeltaan monenlaisia yhdisteitä, jotka liukenevat yleensä huonosti veteen.

Rasvat

Rasvat ovat rasvahappojen ja glyseroli estereitä eli triglyseridejä. Rasvahapot ovat pitkäketjuisia orgaanisia happoja.



Triglyseridin muodostuminen.



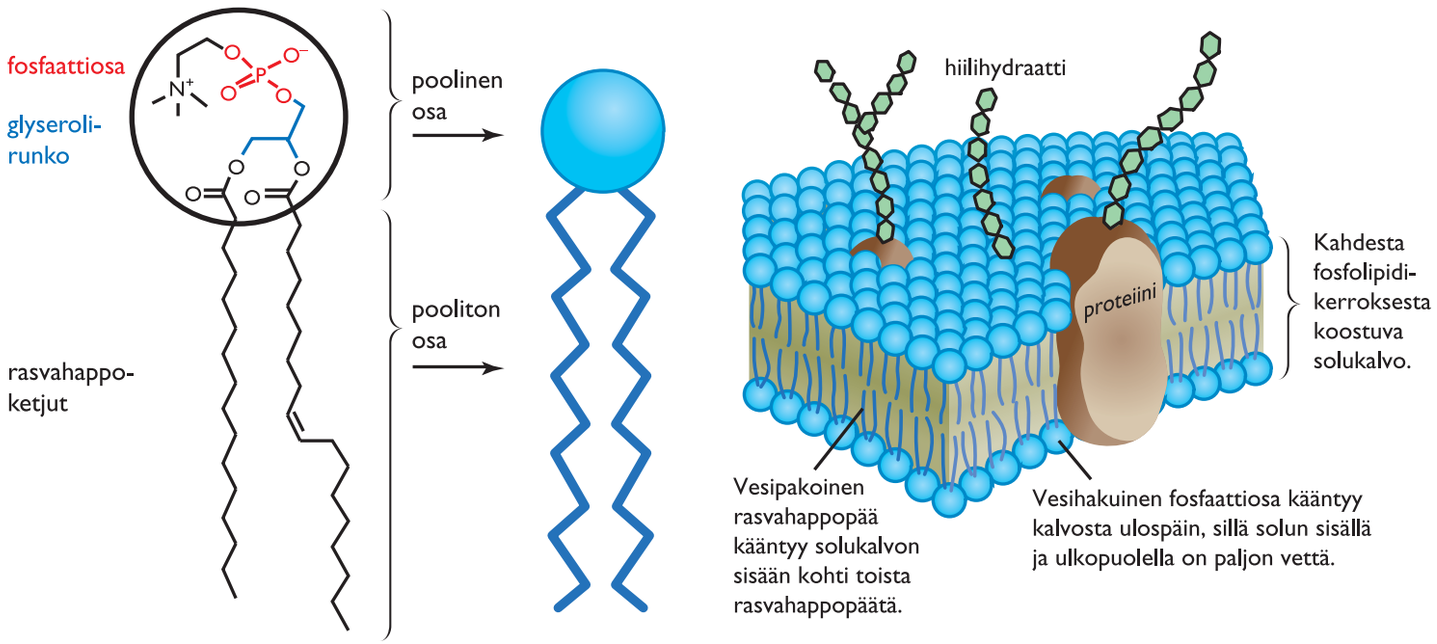
Cis-kaksoissidos aiheuttaa molekyylin taipumisen.

Luonnossa esiintyvät tyydyttymättömät rasvahapot ovat yleensä *cis*-rasvahappoja. *Trans*-rasvahappoja syntyy esimerkiksi kasviöljyjen hydrauksessa. Siksi niitä on elintarvikkeissa, joissa käytetään kovetettua kasvirasvaa, esimerkiksi eineksissä ja leipomotuotteissa. Myös maitorasvassa on jonkin verran *trans*-rasvahappoja. *Trans*-rasvahapot ovat kaksoissidoksestaan huolimatta kovia rasvoja, ja ne ovat terveysvaikutuksiltaan näin ollen samankaltaisia kuin tyydyttyneet rasvat.

Tyydyttyneissä rasvahapoissa ei ole kaksoissidoksia, ja ne muodostavat kovia, tyydyttyneitä rasvoja. Tyydyttymättömät rasvat ovat huoneenlämmössä usein nestemäisiä. Triglyseridimolekyylin sulamis- ja kiehumispisteet alenevat molekyylin hiiliketjujen kaksoissidosten lukumäärän kasvaessa. Kaksoissidokset taivuttavat molekyylejä siten, että ne eivät pääse pakkautumaan yhtä lähelle toisiaan kuin tyydyttyneet rasvahapot. Tällöin kaksoissidoksia sisältävien hiiliketjujen välillä on vähemmän heikkoja dispersiovoimia kuin tyydyttyneiden ketjujen välillä.

Solukalvo koostuu suurelta osin fosfolipideistä

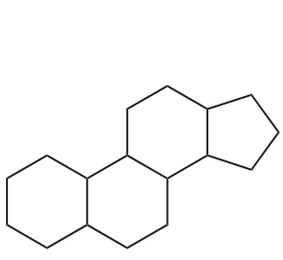
Fosfolipidit ovat lipidejä, joihin on esteröitynyt fosforihappo. Solukalvossa fosfolipidien vesiliukoiset fosfaattiosat kääntyvät ulospäin, sillä solun sisällä ja ulkopuolella on paljon vettä. Rasvahappopäät kääntyvät puolestaan solukalvon sisään kohti toista rasvahappopäätä. Näin fosfolipidit muodostavat nestemäisen kaksoiskalvon. Kalvolla on lisäksi paljon muita molekyylejä. Solukalvolla sijaitseva proteiini voi toimia esimerkiksi viestien vastaanottajamolekyylinä eli reseptorina. Solukalvoon kiinnittyy myös esimerkiksi hiilihydraatteja, joiden avulla toiset solut tunnistavat solutyypin. Solukalvon jäykkyyttä ja läpäisevyyttä säätelee kolesteroli-niminen steroidi.



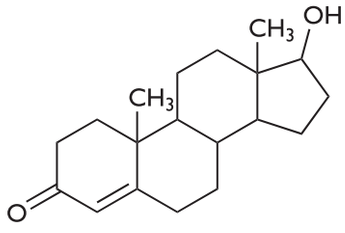
Fosfolipidit ovat lipidejä, joihin on esteröitynyt fosforihappo. Ne muodostavat solukalvon perusrakenteen.

Steroidit koostuvat useista hiilirenkaista

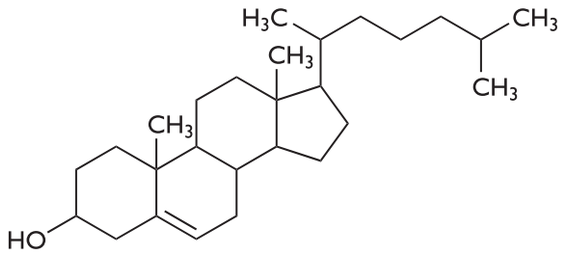
Steroidit koostuvat kolmesta kuusirenkaasta ja yhdestä viisirenkaasta, jotka ovat liittyneet toisiinsa alla olevan kuvan mukaisesti. Steroideja ovat esimerkiksi sukupuolihormonit estradioli ja testosteroni sekä kolesteroli, joka on tärkeä osa solukalvon rakennetta. Kolesteroli säätelee solukalvon jäykkyyttä ja läpäisevyyttä. Siitä valmistetaan elimistössä monia tärkeitä molekyylejä, kuten steroidihormoneja.



steroidin perusrunko



testosteroni

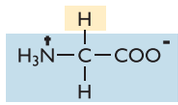


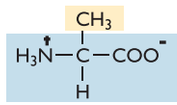
kolesteroli

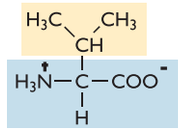
Luonnon aminohappojen rakenteet ja kolmi- sekä yksikirjaimiset lyhenteet

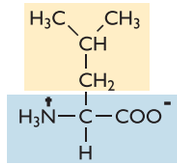
Proteiinit muodostuvat aminohapoista

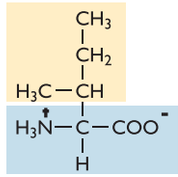
Poolittomat aminohapot

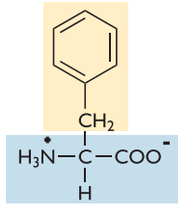

glysiini
Gly, G

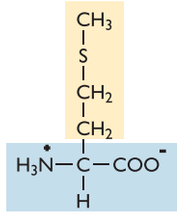

alaniini
Ala, A

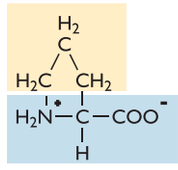

valiini
Val, V

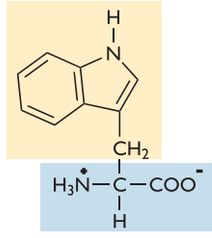

leusiini
Leu, L


isoleusiini
Ile, I


fenyylialaniini
Phe, F

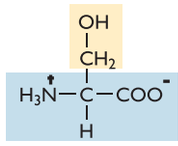

metioniini
Met, M

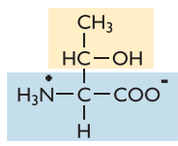

proliini
Pro, P

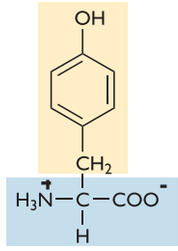

tryptofaani
Trp, W

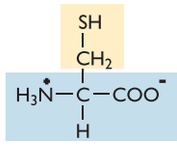
Kaikki ihmisen proteiinit koostuvat 20 aminohaposta. Näistä kahdeksan on saatava ravinnosta, sillä elimistö ei pysty valmistamaan niitä muista aminohapoista.

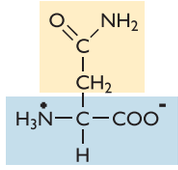
Pooliset aminohapot

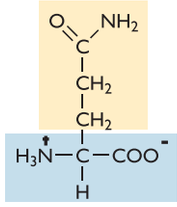

seriini
Ser, S


treoniini
Thr, T


tyrosiini
Tyr, Y

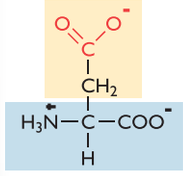

kysteiini
Cys, C

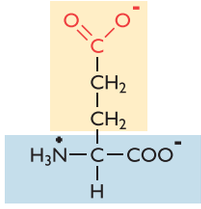

asparagiini
Asn, N


glutamiini
Gln, Q

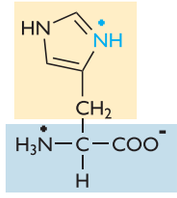
Kaikki aminohapot eivät muodosta proteiineja. Esimerkiksi tauriinia on vapaana aminohappona aivoissa, joissa sen arvellaan toimivan hermosolujen välittäjäaineena. Tauriinia syntyy elimistössä rikkipitoisista aminohapoista. Sitä lisätään esimerkiksi äidinmaidonkorvikkeisiin ja energiajuomiin.

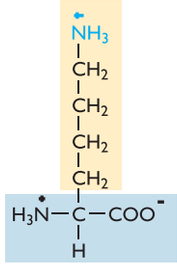
Happamat aminohapot

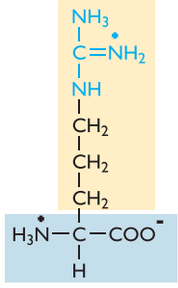

asparagiinihappo
Asp, D


glutamiinihappo
Glu, E

Emäksiset aminohapot


histidiini
His, H


lysiini
Lys, K

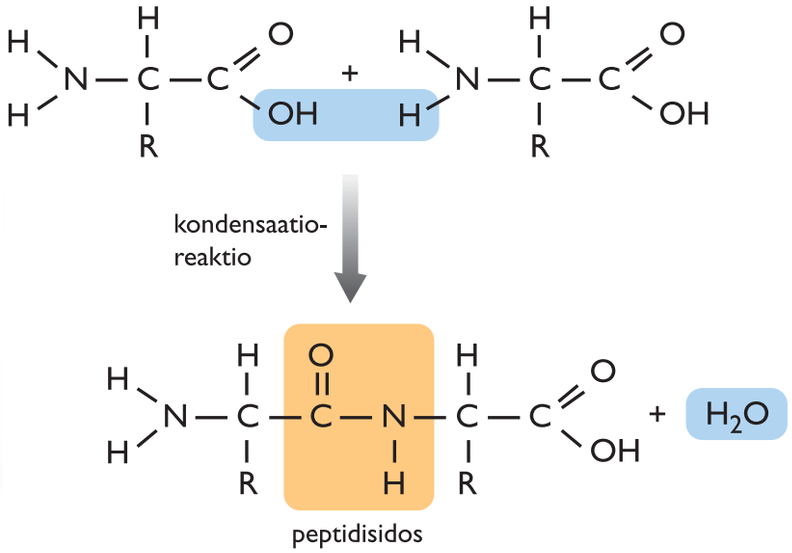

arginiini
Arg, R

– Aminohapoissa on karboksyyliryhmä, aminoryhmä ja sivuketju (merkitään usein R).
– Kaikki eliöiden proteiineissa esiintyvät aminohapot ovat α-aminohappoja, joissa amino- ja karboksyyliryhmä ovat liittyneet samaan hiiliatomiin.
– Sivuketjun rakenne määrää sen, onko aminohappo poolinen vai pooliton.
– Aminohapot ovat amfolyyttejä, ja ne esiintyvät neutraalissa vesiliuoksessa yleensä kahtaisioneina, joissa karboksyyliryhmästä on irronnut protoni ja aminoryhmään on liittynyt protoni.

Peptidisidoksen muodostuminen

Aminohapot muodostavat kondensaatioreaktiossa dipeptidejä ja edelleen polypeptidiketjun. Monet eliöiden polypeptidiketjut ovat satojen tai tuhansien aminohappojen pituisia jättimolekyylejä.

Todellisuudessa oheinen reaktio ei tapahdu spontaanisti eliöissä vallitsevissa olosuhteissa. Jotta reaktio tapahtuisi, karboksyyliryhmä on aktivoitava. Lisäksi reaktioon osallistumattomia amino- ja karboksyyliryhmiä on muokattava, etteivät ne reagoi. Solujen entsyymit ohjaavat näitä reaktioita.



Peptidisidoksen muodostuminen.

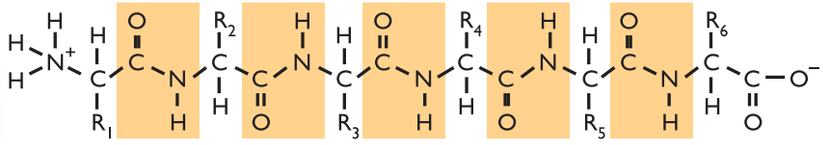
Hydrofobisilla vuorovaikutuksilla tarkoitetaan sitä, että molekyylien vesipakoiset eli hydrofobiset osat pyrkivät toisiaan kohti, ikään kuin ne muodostaisivat oman poolittoman faasinsa.

Polypeptidi on proteiinin primäärirakenne, joka laskostuu edelleen sekundäärirakenteeksi. Sekundäärirakenne on kierre tai laskos, jota pitävät koossa vetysidokset. Sekundäärirakenne kiertyy edelleen tertiääri- ja kvaternäärirakenteeksi. Näiden muodostumiseen vaikuttavat kaikki heikot sidokset (vetysidos, muut dipoli-dipolisidokset, aminohappotähteiden vastaismerkkisten varausten väliset vetovoimat ja dispersiovoimat). Rikkipitoisten kysteiinisivuketjujen väliin voi myös muodostua kovalenttisia disulfidisidoksia eli rikkisiltoja, jotka vaikuttavat merkittävästi proteiinin kolmiulotteiseen rakenteeseen. Myös sivuketjujen tilantarve ja hydrofobiset vuorovaikutukset vaikuttavat proteiinin laskostumiseen.

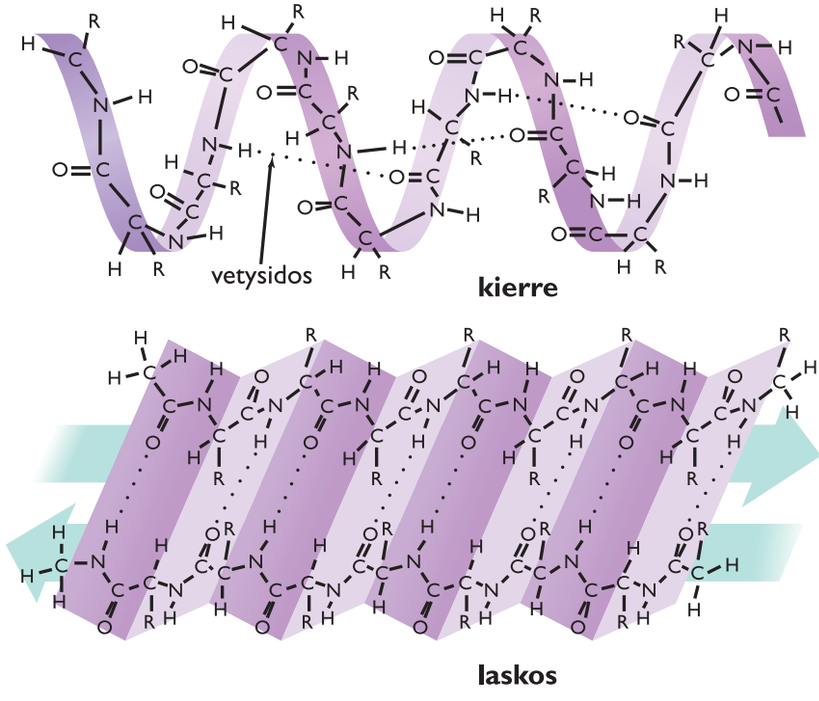
Rakenteista käytetään myös nimiä primaari-, sekundaari-, tertiaari- ja kvartaari-/kvartääri-/kvaternaarirakenne.

Hemoglobiinin primääri-, sekundääri-, tertiääri- ja kvaternäärirakenteet

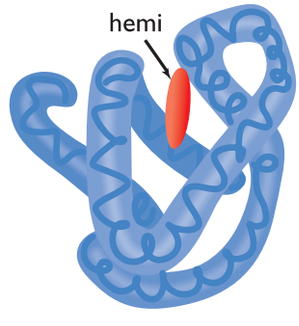
a) Primäärirakenne



b) Sekundäärirakenne

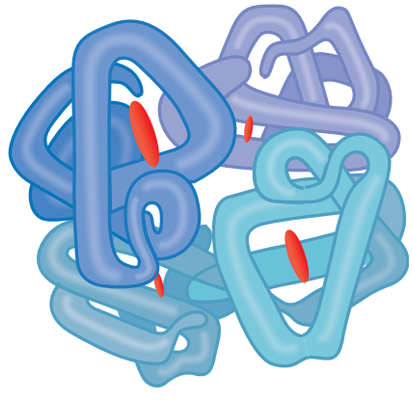


c) Tertiäärirakenne



Sekundäärirakenteen saanut polypeptidi kiertyy edelleen tertiäärirakenteeksi, jonka keskelle sitoutuu heterosyklisestä rakenteesta ja raudasta koostuva hemiryhmä.

d) Kvaternäärirakenne



Neljä c-kohdan yksikköä muodostaa lopulta kvaternäärirakenteen eli toimivan hemoglobiinimolekyylin.

Proteiinin muoto on oleellinen sen toiminnan kannalta. Yksikin muutos peptidiketjun aminohapoissa voi tuottaa väärin laskostuneen ja siten toimimattoman proteiinin. Kuumennus, kemikaalit tai pH:n muutokset vaikuttavat vetysidoksiin ja muuttavat siten proteiinin laskostumista. Tätä kutsutaan denaturoitumiseksi.

Proteiinit toimivat esimerkiksi:

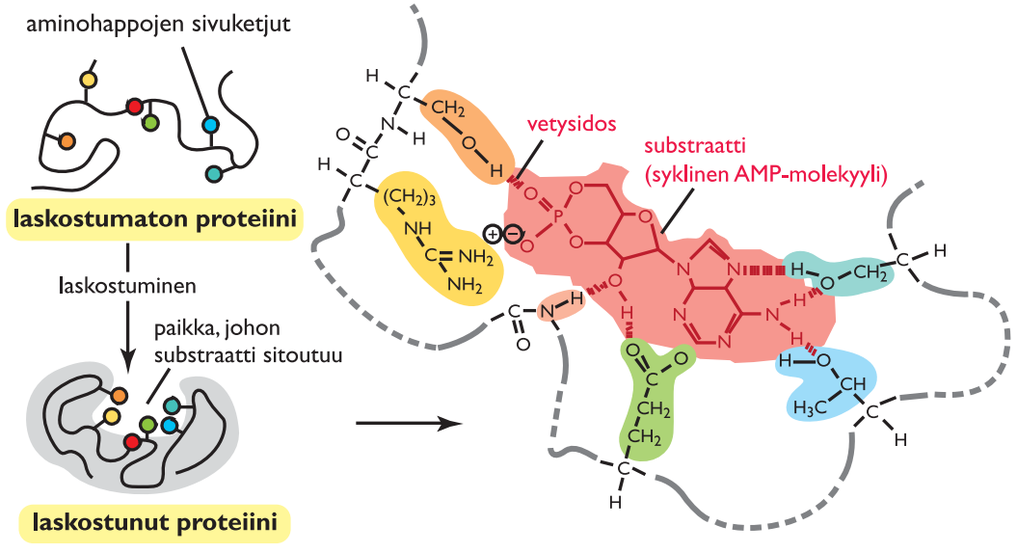
- rakenneproteiineina (esim. ihon kollageeni)
- entsyymeinä (esim. tärkkelystä pilkkova amylaasi)
- reseptoreina eli vastaanottajamolekyyleinä (esim. solukalvon reseptoriproteiinit, joihin sitoutuvat viestimolekyylit muuttavat solun toimintaa)
- hormoneina (esim. insuliini)
- kuljetusproteiineina (esim. hemoglobiini)
- vasta-aineina.

Elimistössä on myös lyhyempiä peptidimolekyylejä, jotka toimivat erilaisissa säätelytehtävissä tai viestinvälittäjinä. Tällaisia ovat esimerkiksi hormonipeptidit vasopressiini ja oksitosiini sekä endorfiinit, jotka vaikuttavat aivojen toimintaan.

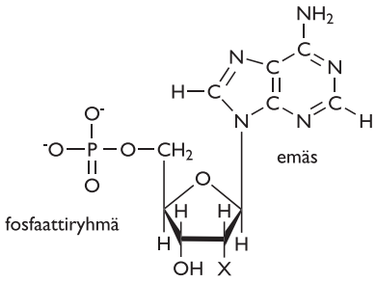
Entsyymin toiminta

Entsyymit ovat biologisia katalyyttejä: ne nopeuttavat aineenvaihdunnan reaktioita. Ilman entsyymejä esimerkiksi ruoansulatus veisi vuosisatoja. Jokaista reaktiota katalysoi oma entsyyminsä. Molekyyliä, jonka reaktiota entsyymi katalysoi, sanotaan substraatiksi.

Entsyymien toiminta perustuu osittain molekyylin muotoon, osittain sen vuorovaikutuksiin substraatin kanssa (esimerkiksi vetysidokset). Aktiiviseen kohtaan sopii siis vain tietty substraatti. Olosuhteet, kuten happamuus, vaikuttavat entsyymin toimintaan, sillä ne muuttavat entsyymin muotoa ja vuorovaikutusta substraatin kanssa.



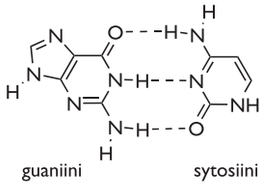
DNA ja RNA ovat nukleotideista koostuvia polymeereja

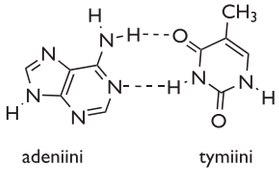


deoksiriboosisokeri: X = H
riboosisokeri: X = OH

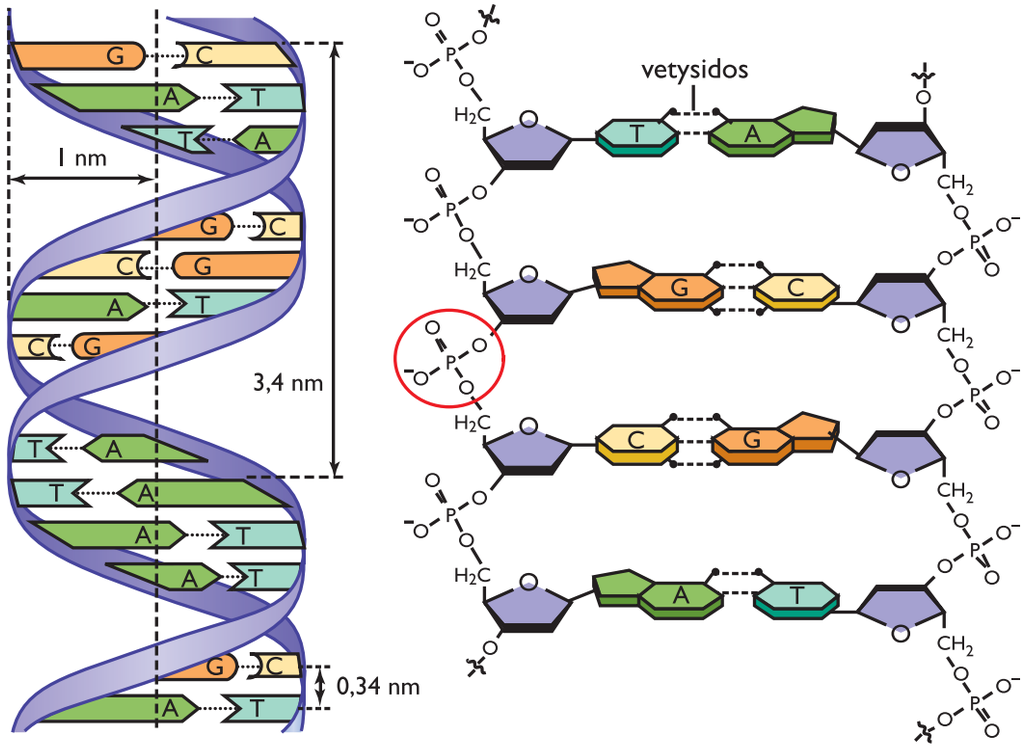
Nukleotidin rakenne.

Nukleotidit koostuvat fosfaattiosasta, riboosi- tai deoksiriboosisokerista ja emäksestä. Eliöiden DNA:ssa on neljää eri emästä: adeniinia, tymiiniä, guaniinia ja sytosiinia. Nukleotidien liittyessä pitkäksi ketjuksi muodostuu DNA:ta, deoksiribonukleiinihappoa. DNA on kaksijuosteinen: siinä on vierekkäin kaksi ketjua, joiden emäkset ovat pariutuneet vetysidoksin. Adeniini pariutuu tymiinin kanssa, guaniini sytosiinin kanssa. Tämän vuoksi DNA pystyy monistumaan helposti: juosteet aukeavat ja niiden viereen syntyy uudet juosteet emäspariperiaatteen mukaan.



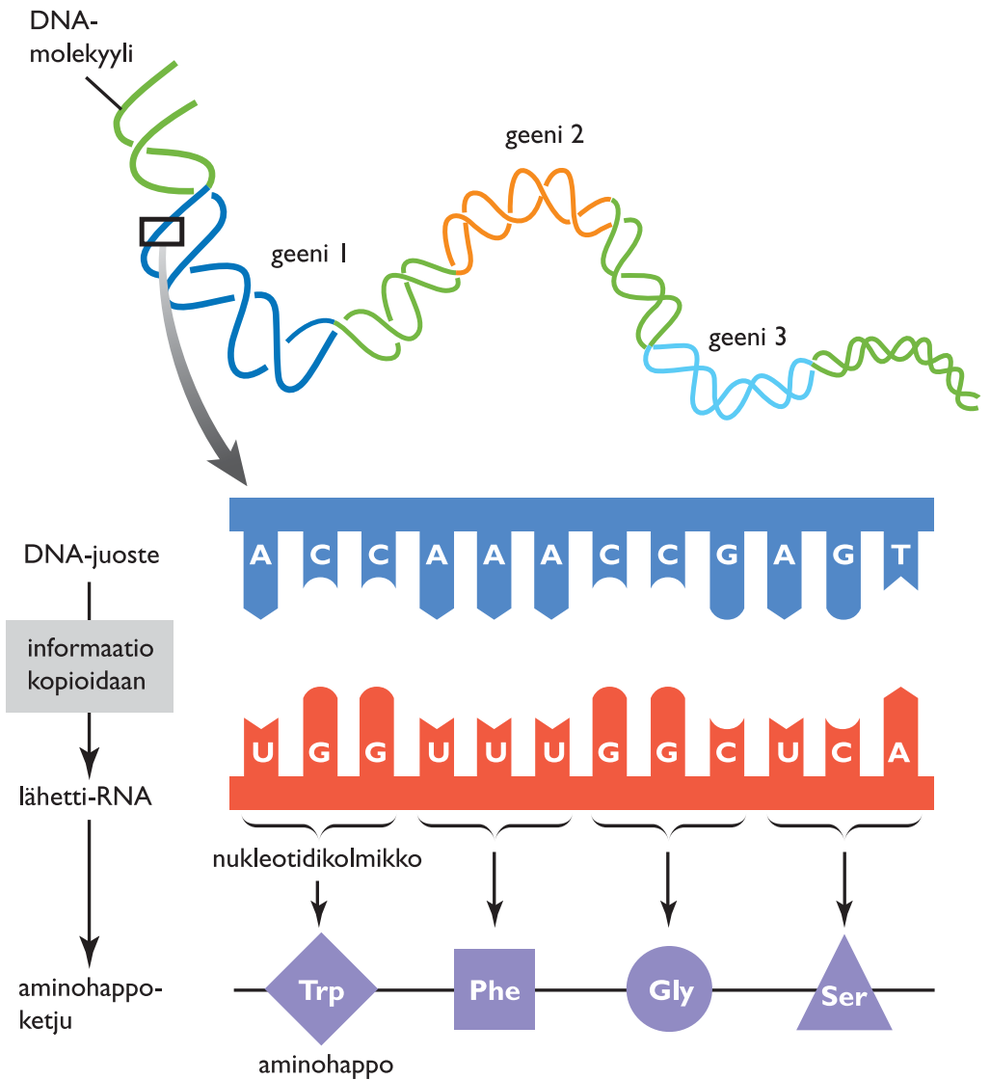


DNA:n emäksiä ovat guaniini, sytosiini, adeniini ja tymiini.



Nukleotidit muodostavat kierteisen DNA-molekyylin. DNA:n nukleotidien emäksiä ovat adeniini (A), tymiini (T), guaniini (G) ja sytosiini (C). Emäkset pariutuvat vetysidoksin. Nukleotidit kiinnittyvät toisiinsa fosfodiesterisidoksin (ympyröity kuvassa).

RNA, ribonukleiinihappo, toimii muun muassa viestimolekyylinä, joka vie tiedon DNA:n emäsjärjestyksestä solun proteiinitehtaisiin. RNA:ssa tymiinin korvaa urasiili, ja RNA on yleensä yksijuosteinen toisin kuin DNA.



DNA sisältää ohjeet proteiinin rakentamiseen. RNA vie DNA:n viestin tuman ulkopuolelle, missä aminohapoista rakentuu proteiini.

Eliöiden proteiinit valmistetaan soluissa DNA:n sisältämän informaation avulla. Jokaista nukleotidikolmikkoa vastaa yksi aminohappo. Kutakin proteiinia koodaa oma DNA-pätkänsä, jota kutsutaan geeniksi.

ESIMERKKI

Vetysidosten vaikutus biomolekyyleissä

Kerro esimerkkejä ja rakennekaavoja hyväksi käyttäen, miten vetysidokset vaikuttavat seuraavien biomolekyylien rakenteeseen, toimintaan ja ominaisuuksiin:

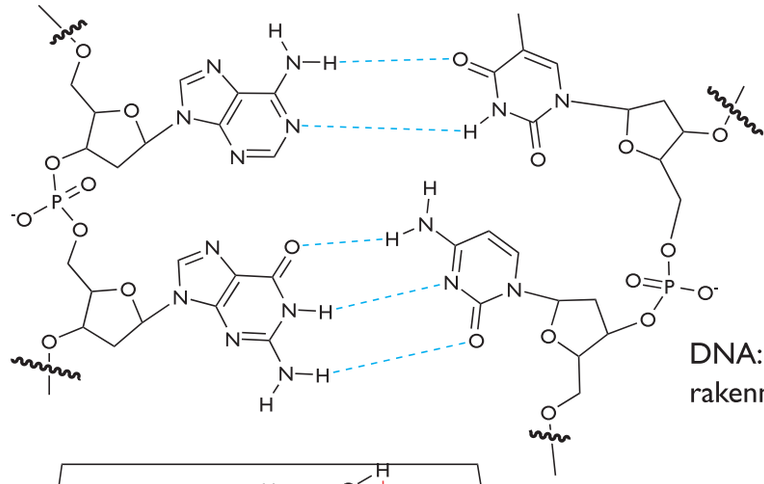
a) proteiinit
b) DNA
c) selluloosa.

Ratkaisu

a) Proteiinit koostuvat aminohapoista, jotka sitoutuvat toisiinsa kovalenttisin peptidisidoksin. Tätä kutsutaan proteiinin primäärirakenteeksi. Aminohappoketjun eri kohdissa olevien aminohappojen sivuketjujen välille muodostuu vetysidoksia (ja muita vuorovaikutuksia kuten rikkisiltoja), jotka saavat aikaan sen laskostumisen kierteiseksi tai levymäiseksi rakenteeksi. Tätä kutsutaan sekundäärirakenteeksi. Aminohappojen sivuketjujen väliset vetysidokset vaikuttavat myös proteiinin tertiääri- ja kvaternäärirakenteisiin. Kuva proteiinirakenteen muodostumisesta on esitetty sivulla 172.

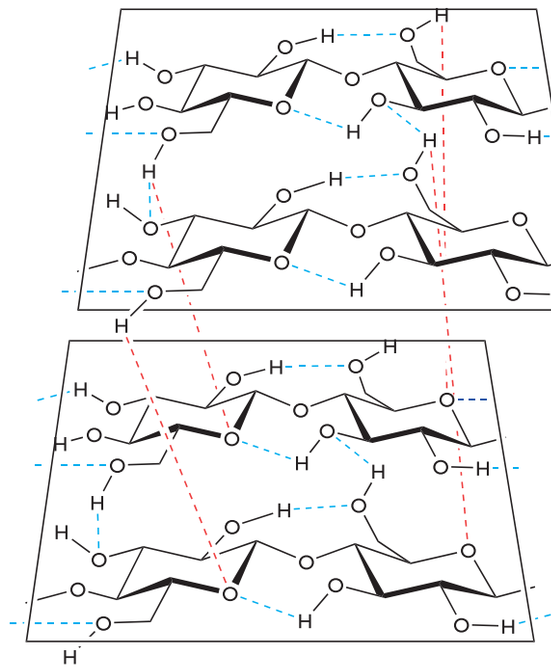
Proteiinin toiminta perustuu muun muassa sen muotoon ja vuorovaikutuksiin muiden molekyylien kanssa. Esimerkiksi entsyymien ja solukalvon reseptorien eli vastaanottajamolekyylien toiminta perustuu paitsi oikeaan muotoon, myös siihen, että kohdemolekyylit sitoutuvat aktiiviseen kohtaan muun muassa vetysidosten avulla.

b) DNA koostuu nukleotideista, joiden emäkset adeniini (A), tymiini (T), sytosiini (C) ja guaniini (G) pariutuvat vetysidosten avulla. Adeniini pariutuu tymiinin kanssa ja sytosiini guaniinin kanssa. Tämä mahdollistaa informaation säilymisen ja kopioimisen: kaksijuosteisen DNA-molekyylin avautuessa molempien juosteiden viereen voidaan rakentaa uusi, alkuperäisen parin kanssa identtinen juoste.



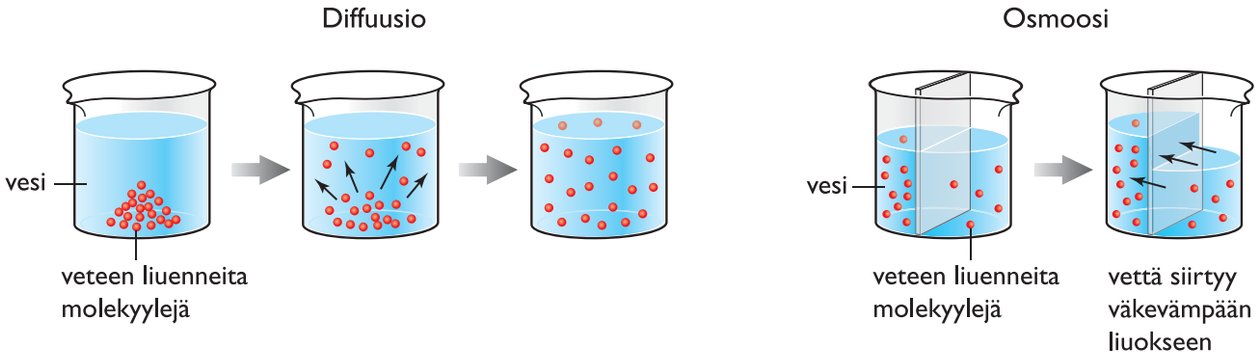
DNA:n rakenne.

c) Selluloosa muodostuu glukoosimolekyyleistä, jotka sitoutuvat toisiinsa kovalenttisin sidoksin muodostaen pitkän, haarautumattoman molekyylin. Selluloosamolekyylien väliset vetysidokset (siniset ja punaiset katkoviivat) sitovat molekyylit tiukasti yhteen sekä sivu- että pystysuunnissa, jolloin syntyy lujia, veteen liukenemattomia selluloosakuituja. Ne ovat jäykkiä ja kulkevat melko vahingoittumattomina esimerkiksi ihmisen ruoansulatuskanavan läpi.



Selluloosan rakenne.

Osmoosissa ja diffuusiossa pitoisuuserot tasoittuvat



Diffuusiossa aineet sekoittuvat toisiinsa molekyylien lämpöliikkeen ansiosta. Kuvan esimerkissä liukeneva aine sekoittuu vähitellen tasaisesti veteen.

Osmoosissa vesi tai muu liuotin siirtyy puoliläpäisevän kalvon läpi. Useimmat muut molekyylit eivät läpäise kalvoa, ja pitoisuusero tasoittuu tässä tapauksessa veden liikkeen ansiosta. Esimerkiksi solukalvo on puoliläpäisevä kalvo.

Auringon valon energia hajottaa veden hapeksi ja vedyksi ja virittää viherhiukkasten lehtivihreämolekyylejä. Viritystila siirtyy molekyyliltä toiselle, ja energia käytetään lopulta ATP-molekyylien lataamiseen.

Solujen energiatalous

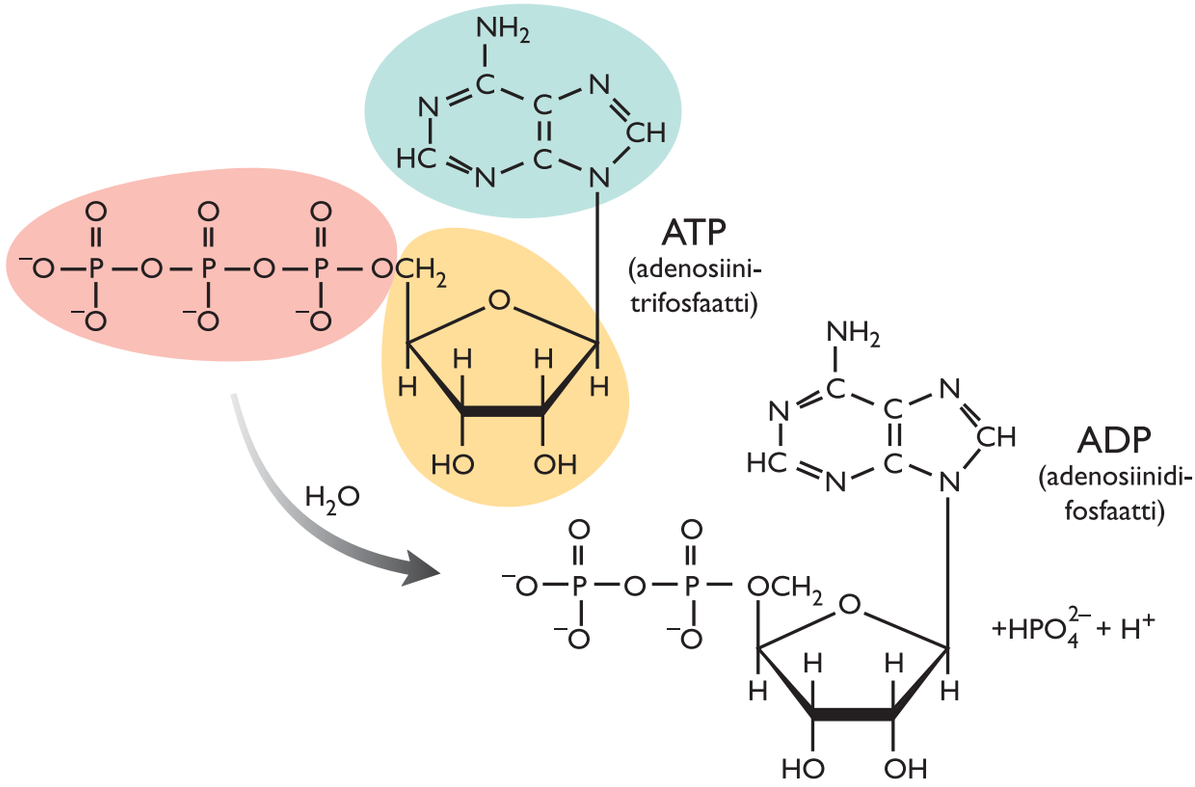
$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \underset{\text{soluhengitys}}{\overset{\text{yhteyttäminen}\ h\nu}{\rightleftharpoons}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

Yhteyttämisessä eli fotosynteesissä kasvit ja levät sitovat auringon valon energiaa ensin lyhytikäiseen energiavarastoon, ATP:hen (adenosiinitrifosfaatti). Yhteyttäminen jatkuu siten, että solu käyttää ATP:hen varastoidun energian glukoosin valmistukseen hiilidioksidista ja vedestä. Glukoosista se valmistaa edelleen muun muassa tärkkelystä ja selluloosaa.

Soluhengitys on fotosynteesille käänteinen reaktio, jossa kasvi-, eläin- ja sienisolut vapauttavat energiaa glukoosista ja muista ravintoaineista. Vapautunut energia lataa ATP-molekyylejä, joita solu käyttää energianlähteenä esimerkiksi liikkumisessa ja uusien molekyylien rakentamisessa.

ATP on solun energian välittäjä

ATP eli adenosiinitrifosfaatti on molekyyli, joka koostuu adeniinirenkaasta, riboosisokerista ja kolmesta fosfaattiosasta. Se toimii soluissa lyhytaikaisena energiavarastona, joka siirtää fotosynteesissä, soluhengityksessä tai käymisessä vapautunutta energiaa solun muihin aineenvaihduntareaktioihin. ATP:ta syntyy ja hajoaa soluissa jatkuvasti.



Kun ATP:sta irtoaa yksi fosfaattiosa, syntyy ADP:ta. Reaktiossa vapautuu energiaa.

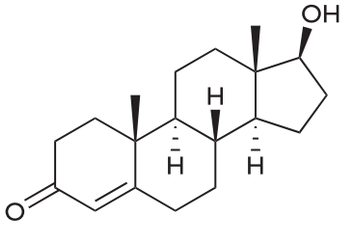
Kun ATP:sta irtoaa yksi fosfaattiosa, syntyy ADP:ta. Tässä reaktiossa vapautuu energiaa, joka on helposti käytettävissä solun aineenvaihduntareaktiossa tai liikkumisessa. Esimerkiksi lihassolujen aktiini- ja myosiiniproteiinit liukuvat toistensa lomaan ATP:sta vapautuneen energian avulla ja saavat siten lihaksen supistumaan.

ATP on kuitenkin lyhytikäinen, minkä vuoksi solu tarvitsee myös pitkäikäisempiä varastomolekyylejä, kuten tärkkelystä, rasvoja ja glykogeenia. Näistä vapautetaan tarpeen mukaan soluhengityksessä energiaa, jolla ladataan uusia ATP-molekyylejä.

TEHTÄVIÄ

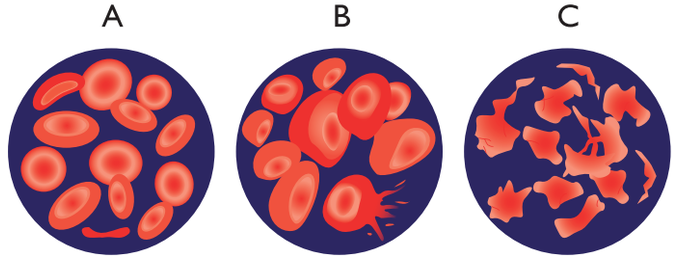
168. a) Mitä yhteistä ja mitä eroa on diffuusiolla ja osmoosilla? Vihje: piirrä kaaviokuva molemmista, niin yhtäläisyydet ja erot hahmottuvat paremmin.
b) Raakaan perunaan kaiverretaan kolo ja koloon laitetaan suolaa. Mitä arvelet tapahtuvan ja miksi?

169. Testosteroni (kuva alla) on sukupuolihormoni. Sekä miehet että naiset erittävät sitä, mutta miehet tuottavat testosteronia noin kymmenkertaisen määrän naisiin verrattuna eli jopa 11 mg vuorokaudessa.
a) Kirjoita testosteronin molekyylikaava.
b) Mikä on testosteronin moolimassa?
c) Kuinka monta moolia testosteronia mies voi vuorokaudessa tuottaa?



170. Määrittele käsitteet:
a) triglyseridi
b) oligosakkaridi
c) polysakkaridi
d) hiilihydraatti
e) peptidisidos
f) polypeptidi
g) proteiini
h) lipidi.

171. a) Kuvissa A–C on punasoluja. A-kuvan punasolut ovat isotonisessa liuoksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että liuos on yhtä väkevä kuin solujen sisältö. Päättele, millaisessa liuoksessa kuvien B ja C solut ovat. Perustele päätelmäsi ja kerro, mistä ilmiöstä on kyse.

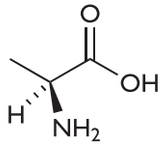


b) Miksi on hengenvaarallista antaa ihmiselle suoraan suoneen puhdasta vettä?

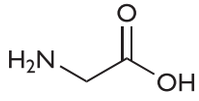
172. Entsyymit ja niiden toiminta. Käsittele myös entsyymien käyttöä teollisuudessa ja arkielämässä. Voit ottaa esille muitakin entsyymien hyödyntämismahdollisuuksia.

173. Proteiinit koostuvat aminohapoista.
a) Miten aminohapoista rakentuu toimiva proteiini?
b) Minkälaisia tehtäviä proteiineilla on elimistössä?
c) Kananmunan valkuainen muuttuu kuumennettaessa kiinteäksi ja valkoiseksi. Selitä kemiallisesti, mistä muutos johtuu.

174. Mitkä dipeptidit on mahdollista valmistaa alaniinista ja glysiinistä? Piirrä näiden yhdisteiden rakenteet.



alaniini

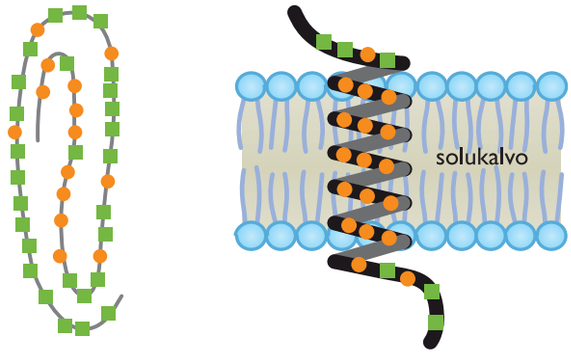


glysiini

175. Kun proteiini laskostuu toimivaan muotoonsa, sivuryhmänsä perusteella pooliset ja poolittomat aminohapot sijoittuvat lopullisessa rakenteessa eri tavoin. Alla olevassa kuvassa on esitetty solukalvossa olevan ja veteen liuenneen proteiinin karkea rakenne. Selitä, miksi pooliset ja poolittomat aminohapot sijoittuvat proteiinissa eri kohtiin.

Poolisia aminohappoja (■) on paljon veteen liuenneen proteiinin ulkopuolella.

Poolittomia aminohappoja (●) on paljon kalvoproteiinin solukalvoon uponneessa osassa.



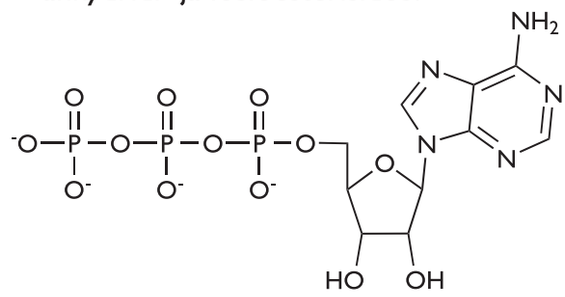
176. a) Karboksyylihapon ja alkoholin reagoidessa syntyy karboksyylihapon esteriä. Kuvaa rakennekaavoin, millaisia estereitä syntyy fosforihapon ja alkoholin reagoidessa keskenään.

b) Kirjoita a-kohdan estereiden protoninsiirtoreaktiot vedessä.

c) Missä biomolekyyleissä on fosforihaposta muodostunut esteri?

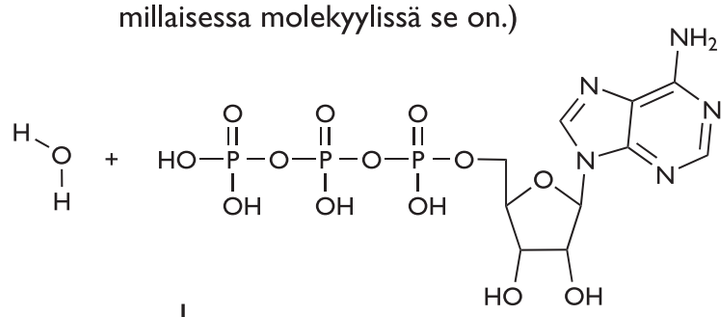
d) Kahden karboksyylihapon reagoidessa keskenään syntyy karboksyylihappoanhydridiä. Kuvaa rakennekaavalla, millainen rakenne syntyy, kun kaksi fosforihappomolekyyliä muodostaa fosforihappoanhydridin.

e) Missä kohdassa ATP:ssä on fosfoanhydridi- ja fosfoesterisidos?

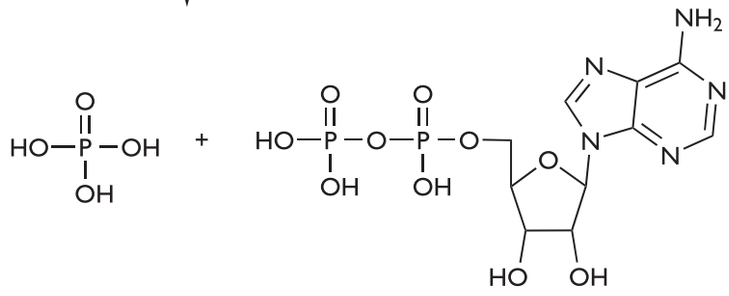


ATP

f) Kun rasvat, hiilihydraatit tai proteiinit pilkkoutuvat elimistössä, vapautuva energia välitetään ATP:n avulla elimistön muiden energiaa vaativien reaktioiden käyttöön. Laske sidosenergioista ATP:n hydrolyysin ΔH (ks. s. 63–64).
Huom! Selvyyden vuoksi ATP:n fosfaattiryhmät on piirretty happomuodossa.
Sidosenergioiden arvoja:
$\Delta H_{O–H}$ = 490 kJ/mol (vesi)
$\Delta H_{O–P}$ = 276 kJ/mol (ATP)
$\Delta H_{O–H}$ = 440 kJ/mol (fosforihappo)
$\Delta H_{O–P}$ = 350 kJ/mol (ADP)
(Tietyn sidoksen, kuten O–P tai O–H, sidosenergia voi vaihdella sen mukaan, millaisessa molekyylissä se on.)



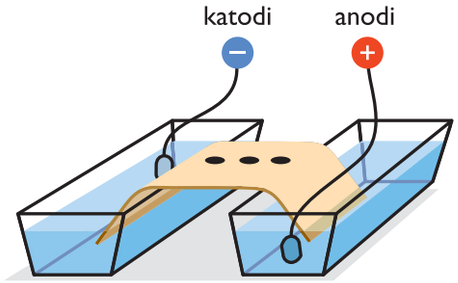
ATP

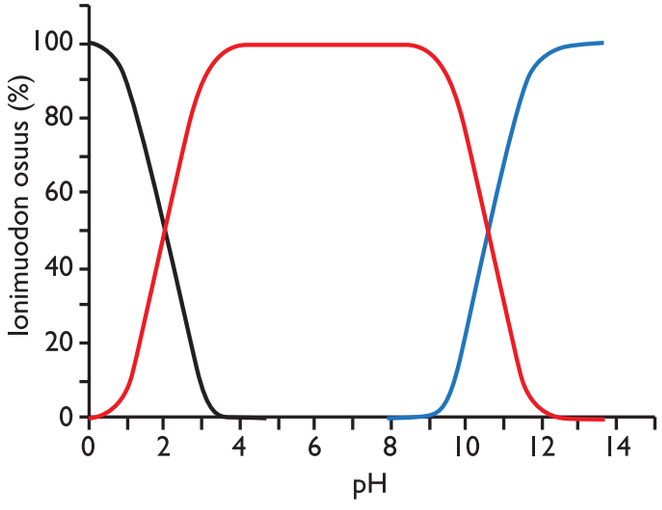


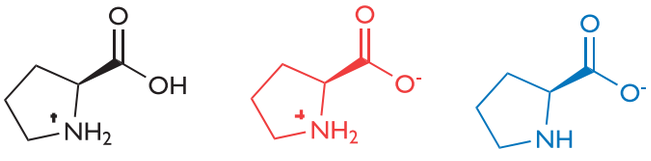
fosforihappo

ADP

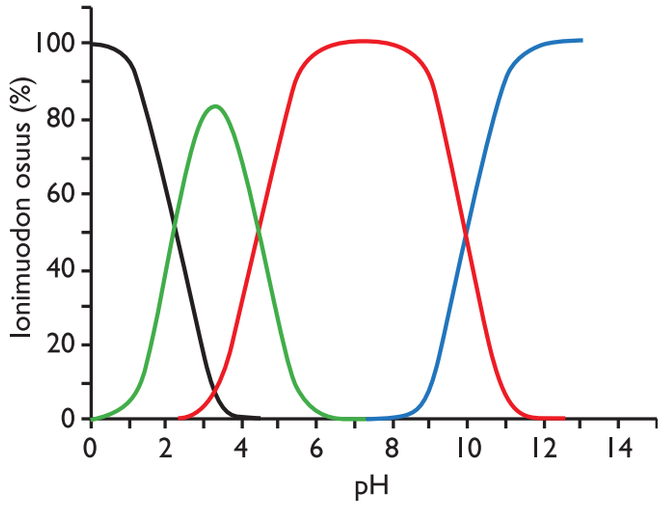
177. Alla on esitetty proliinin ja glutamiinihapon ionimuotojen osuudet eri pH-arvoissa. Aminohapot analysoitiin paperielektroforeesilla (kuva ohessa). Paperielektroforeesissa on kaksi puskuriliuoksella täytettyä ajokammiota. Paperi kostutetaan samaan puskuriliuokseen, ja paperin päät asetetaan kammioihin. Aminohapponäyte asetetaan paperin keskelle. Ajokammioihin upotetaan elektrodit, ja systeemin läpi johdetaan tasavirta. Tämän seurauksena ne aminohapot, joiden kaikkien ionimuotojen yhteenlaskettu varaus on positiivinen, kulkevat kohti katodia eli negatiivista kohtiota. Vastaavasti aminohapot, joiden ionimuotojen yhteenlaskettu varaus on negatiivinen, kulkevat kohti anodia eli positiivista kohtiota. Ajon jälkeen paperi kuivataan ja värjätään, jolloin liikkuneet aminohapot tulevat näkyviin.

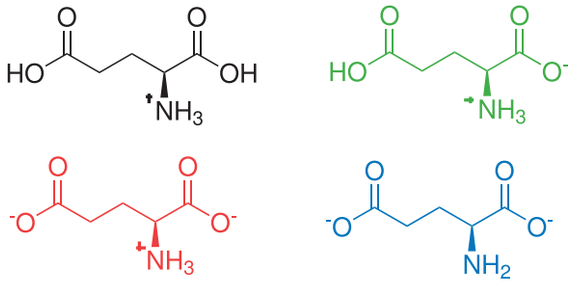






Proliinin ionimuotojen osuudet eri pH-arvoissa.





Glutamiinihapon ionimuotojen osuudet eri pH-arvoissa.

a) Määritä kaavioista aminohappojen funktionaalisten ryhmien pK_a-arvot (ks. t. 82 s. 84).
b) Mitä ionimuotoja ja kuinka paljon on yllä olevien kuvien mukaan läsnä puskuriliuoksen pH:ssa 9,0?
c) Selitä, mihin suuntiin aminohapot liikkuvat b-kohdan liuoksen pH:ssa. Miksi tietyn aminohapon ionimuodot eivät erotu toisistaan?
d) Missä pH:ssa on aminohappojen isoelektrinen piste (pI)? (Isoelektrisessä pisteessä aminohappojen ionimuotojen yhteenlaskettujen varausten summa on 0.)

YLIOPPILASTEHTÄVIÄ

178. Miten hiilihydraatteja muodostuu luonnossa? Miten hiilihydraatit eroavat toisistaan rakenteellisesti ja kemiallisesti? Tarkastele myös hiilihydraattien teollista käyttöä.

K-10 tehtävä +12

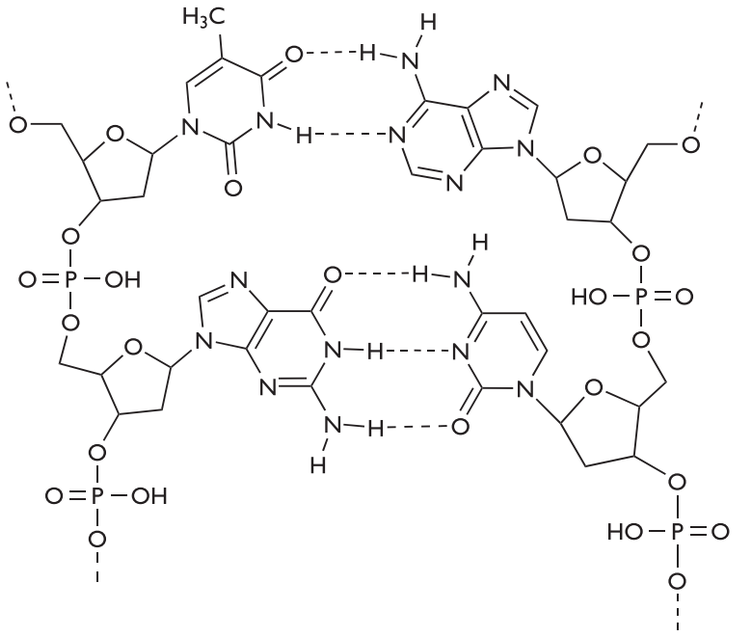
179. Kuvassa on DNA:n rakennetta.

a) Mistä osista yksittäinen DNA-ketju on muodostunut?

b) Miten ketjut sitoutuvat toisiinsa kaksoiskierteeksi?

c) Miten DNA eroaa rakenteellisesti RNA:sta?

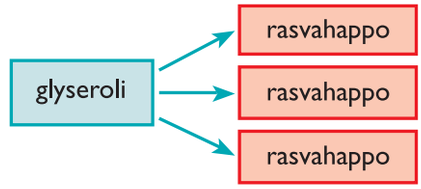
S-96 tehtävä 6



180. Aminohapot. Tarkastele myös aminohappojen esiintymistä luonnossa ja merkitystä ihmiselle.

K-99 tehtävä +8

181. Ravinnon rasvat koostuvat suurelta osin triglyseridistä, jotka muodostuvat, kun kolmenarvoinen alkoholi glyseroli reagoi kolmen rasvahappomolekyylin kanssa. Rasvahapot voivat olla tyydyttyneitä tai niiden rakenteissa on yksi tai useampi kaksoissidos. Hiiliketju on haaroittumaton ja sisältää tavallisesti 12–18 hiiliatomia. Seuraavassa taulukossa on kuvattu muutamia tärkeitä ravinnosta saatavia rasvahappoja ja niiden esiintymistä ravinnossa.



Nimi	Symboli	Esiintyminen
Palmitiinihappo	C16:0	maito- ja lihavalmisteet, voi
Steariinihappo	C18:0	maito- ja lihavalmisteet, voi
Öljyhappo	C18:1n-9	rypsi- ja oliiviöljy
Linolihappo	C18:2n-6	auringonkukka-, maissi-, soija- ja rypsiöljy

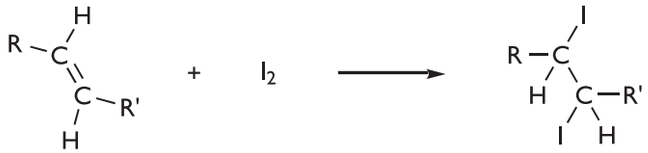
* C:n perässä oleva luku tarkoittaa rasvahapossa olevien hiiliatomien määrää. Kaksoispisteen jälkeen oleva numero osoittaa kaksoissidosten lukumäärän. Numero n-kirjaimen jälkeen kertoo ensimmäisen kaksoissidoksen paikan, eli n-9 tarkoittaa, että kaksoissidos lähtee rasvahappomolekyylin metyylipäästä laskien yhdeksännestä hiilestä.

a) Kirjoita rakennekaavoin triglyseridin muodostumisreaktio, kun glyseroli reagoi kolmen öljyhappomolekyylin kanssa. Öljyhapon kaksoissidos on *cis*-sidos. (2 p.)

b) Kun eläinrasvaa hydrolysoidaan NaOH-liuoksella, saadaan saippuaa. Esitä reaktiotuote, kun triglyseridi, jossa happo-osana on palmitiinihappo, hydrolysoidaan NaOH-liuoksella. (2 p.)

c) Margariinia valmistettaessa osa *cis*-rasvahapoista pelkistyy tyydyttyneiksi rasvahapoiksi ja osa muuttuu *trans*-rasvahapoiksi, joita margariinissa on muutama prosentti. Eräässä linolihapon isomeereista ensimmäinen kaksoissidos metyylipäästä lukien on *cis*-sidos ja toinen, kahdeksannesta hiilestä lähtevä kaksoissidos on *trans*-sidos. Laadi tämän linoli-hapon rakennekaava ja happoa pelkistettäessä saadun tyydyttyneen rasvahapon rakennekaava. (2 p.)

d) Ravintorasvojen tyydyttymättömyysastetta kuvataan jodiluvulla, jolla tarkoitetaan jodin määrää grammoina 100:aa rasvagrammaa kohti. Se määritetään antamalla rasvahapon kaksoissidosten reagoida jodin kanssa:



Koe aloitetaan lisäämällä ylimäärin jodia rasvaan ja antamalla reaktion mennä loppuun. Reagoimattoman jodin määrä saadaan selville titraamalla natriumtiosulfaatilla:

$I_2(s) + 2\ Na_2S_2O_3(aq) \rightarrow$

$Na_2S_4O_5(aq) + 2\ NaI(aq)$

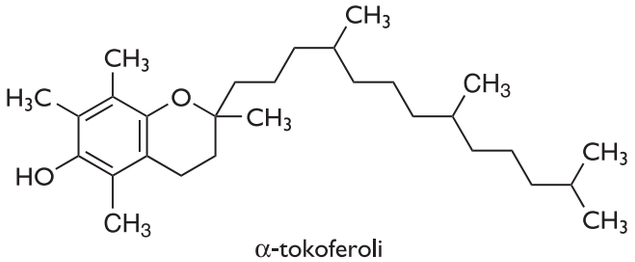
Maissiöljyn jodiluvun määrityksessä lähtöaineina käytettiin 43,8 g jodia ja 35,3 g öljyä. Laske jodiluku, kun reagoimattoman jodin titraukseen kului 20,6 ml 0,142 M natriumtiosulfaattiliuosta. (3 p.)

K-06 tehtävät +11

182. Ohessa on erään kasvirasvalevitteen tuoteseloste.

a) Selitä rasvojen yleinen kemiallinen rakenne. Levitteen rasvat on luokiteltu tyydyttyneisiin, kertatyydyttymättömiin ja monityydyttymättömiin. Miten ne eroavat ominaisuuksiltaan? (3 p.)

b) Kasvirasvalevite sisältää E-vitamiinia (α-tokoferoli). E-vitamiini kuuluu rasvaliukoisiin vitamiineihin. Miten tämä on pääteltävissä sen molekyylirakenteesta? (2 p.)



α-tokoferoli

c) Tuoteselosteen mukaan levite on vähälaktoosinen. Mitä tällä tarkoitetaan, ja mistä syystä tällaisia tuotteita tarvitaan? (2 p.)

d) Rasia on polypropeenia (PP). Esitä propeenin polymeroitumisreaktio. Laadi reaktioyhtälö, joka kuvaa rasian poltossa tapahtuvaa reaktiota. (2 p.)

KASVIRASVALEVITE 38 / VEGETABILISKT MATFETT 38
AINESOSAT: Vettä, rypsiöljyä, kasvirasvoja, pektiiniä, suolaa, emulgointiaineita (E471, E476), maitoproteiinivalmistetta, säilöntäainetta (E202), aromeja, happamuudensäätöainetta (E500), A- ja D-vitamiinia. **Vähäsuolainen, suolapitoisuus 0,9 %. Vähälaktoosinen.** Säilytetään viileässä, mieluiten jääkaapissa +4 – +8 °C. **Huom. Kevyt Keiju ei sovellu paistamiseen.**
INGREDIENSER: Vatten, rypsolja, vegetabiliska fetter, pektin, salt, emulgeringsmedel (E471, E476), mjölkproteinpreparat, konserveringsmedel (E202), aromer, surhetsreglerande medel (E500), A- och D-vitamin. **Lättsaltat, salthalt 0,9 %. Laktosfattigt.** Förvaras svalt, helst i kylskåp +4 – +8 °C. **Obs. Keiju Lätt lämpar sig inte för stekning.**

RAVINTOARVO / NÄRINGSVÄRDE / 100 G:	
Energiaa / Energi	1400 kJ / 340 kcal
Proteiinia / Protein	< 1 g
Hiilihydraattia / Kolhydrater	< 1 g,
josta sokereita / varav sockerarter	0,2 g,
josta laktoosia / varav laktos	0,2 g
Parasta ennen päiväys kannessa / Bäst före datum på locket	
Rasvaa / Fett 38 g, josta / varav	
tyydyttynyttä / mättat	10 g
kertatyydyttymätöntä / enkelomättat	18 g
monityydyttämätöntä / fleromättat	10 g,
josta / varav omega-3	3 g,
josta / varav omega-6	6 g
kolesterolia / kolesterol	0 mg
Ravintokuitua / Kostfiber 0g. Natriumia / Natrium 0,4 g.	
E-vitamiinia / E-vitamin	6 mg (60 %)*
Vitaminoitu / Vitaminerat	
A-vitamiinia / A-vitamin	900 µg (110 %)*
D-vitamiinia / D-vitamin	9,2 µg (184 %)*
* päivän saantisuosituksesta / av rekommenderat dagligt intag	
Rasvapitoisuus / Fetthalt 38 %	

05 PP

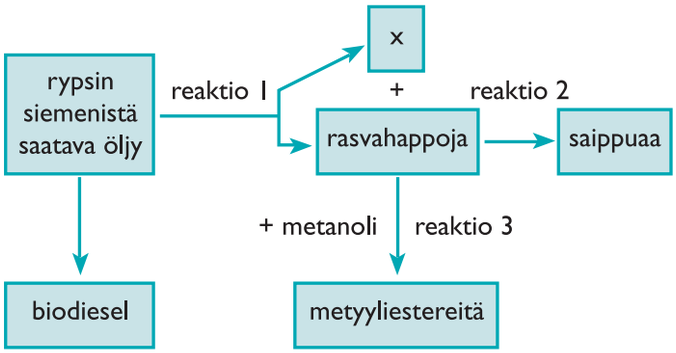
K-08 tehtävä +12

183. Rypsin siemenistä saatava ruokaöljy sisältää eri rasvahappojen johdannaisia. Oheisessa kuvassa on esitetty, mitä eri tuotteita öljystä voidaan valmistaa.

a) Esitä reaktiossa I muodostuvan tuotteen X rakenne ja nimi.

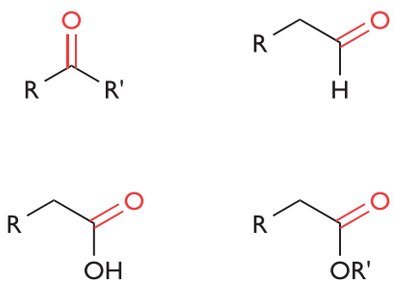
b) Esitä rakennekaavoin reaktioiden 2 ja 3 yhtälöt, kun rasvahappona on palmitiinihappo ($C_{15}H_{31}COOH$).

c) Saippuaa lisättiin astiaan, jossa oli kovaa kaivovettä. Mitä havaitset? Perustele reaktioyhtälön avulla.



S-09 tehtävä 9

184. Karbonyyliryhmä (>C=O) on yksi orgaanisen kemian tärkeimmistä funktionaalisista ryhmistä. Karbonyyliyhdisteet ovat erittäin yleisiä luonnossa, ja niiden merkitys biologisissa prosesseissa on suuri. Hormonit, vitamiinit, aminohapot ja monet lääkeaineet sisältävät yhden tai useamman karbonyyliryhmän.



a) Vertaile eri karbonyyliyhdisteitä keskenään niiden rakenteiden ja reaktioiden avulla. (3 p.)

b) Selitä, miksi karboksyylihappojen kiehumispisteet ovat paljon korkeampia kuin esimerkiksi vastaavien aldehydien ja ketonien kiehumispisteet. (1 p.)

c) Luonnon yhdisteet, kuten proteiinit, sisältävät useita karbonyyliryhmiä. Mikä merkitys karbonyyliryhmillä on proteiinien avaruusrakenteen muodostumisessa? Perustele vastauksesi rakennekaavoin. (1 p.)

d) Yhdiste A ($C_5H_{10}O$), jonka rakenteessa on yksi karbonyyliryhmä ja yksi kiraalinen hiiliatomi, pelkistyy yhdisteeksi B ($C_5H_{12}O$). Yhdiste A voidaan myös hapettaa yhdisteeksi C ($C_5H_{10}O_2$). Kun yhdisteet B ja C reagoivat keskenään, syntyy yhdiste D ($C_{10}H_{20}O_2$). Esitä yhdisteiden A–D rakennekaavat sekä reaktioyhtälöt tuotteiden B–D muodostumiselle. (2 p.)

e) Voiko yhdisteellä D olla erilaisia stereoisomeereja? Perustele. (2 p.)

S-10 tehtävä +11

185. Ihmisen elimistö hyödyntää hiilihydraatteja pääasiassa monosakkaridimuodossa.

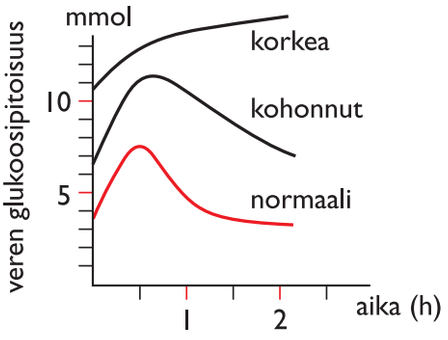
a) Esitä yhden aldoheksoosin (sisältää aldehydiryhmän) ja yhden ketoheksoosin (sisältää ketoryhmän) avoketjuinen muoto ja ympyröi niistä kaikki toiminnalliset (funktionaaliset) ryhmät. Esitä myös vastaavat rengasmaiset rakennekaavat. (2 p.)

b) Laadi rakennekaavoja käyttäen jonkin disakkaridin muodostumista kuvaava reaktioyhtälö. (2 p.)

c) Oheinen kuvio havainnollistaa aterian jälkeistä veren glukoosipitoisuuden muutosta ajan funktiona ihmisillä, joilla veren sokeripitoisuus on normaali, kohonnut tai korkea. Millainen päätelmä olisi todennäköinen, jos aloitusmittauksessa saadaan veren glukoosipitoisuudeksi 0,70 g/l? Entä siinä tapauksessa, jos 1,5 tunnin kuluttua mittauksen aloituksesta glukoosipitoisuus on 1,6 g/l? (2 p.)

d) Terveen ihmisen virtsassa glukoosia ei ole mitattavia määriä. Glukoosin osoitusreaktio voidaan tehdä Benedictin liuoksella, joka sisältää muun muassa natriumkarbonaattia, kuparisulfaattia ja vettä. Kun tätä

liuosta lisätään virtsanäytteeseen, glukoosi hapettuu ja lisäksi muodostuu tiilenpunainen saostuma kuparin pelkistyessä hapetusasteelle +I. Kirjoita hapettumista ja pelkistymistä kuvaavien osareaktioiden sekä kokonaisreaktion yhtälöt, kun tiedetään, että reaktio tapahtuu emäksisissä olosuhteissa. (3 p.)



S-12 tehtävä +11

186. Monista tavallisista kemiallisista yhdisteistä käytetään usein niiden yleisnimiä. Selvitä kaavan avulla tai muulla tavoin, mitä seuraavat aineet ovat kemialliselta koostumukseltaan:

a) etikka
b) saippua
c) taloussokeri
d) ruokaöljy
e) bensiini
f) tärkkelys.

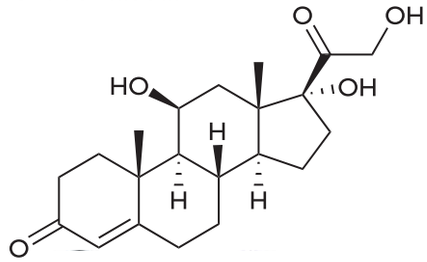
S-12 tehtävä 1

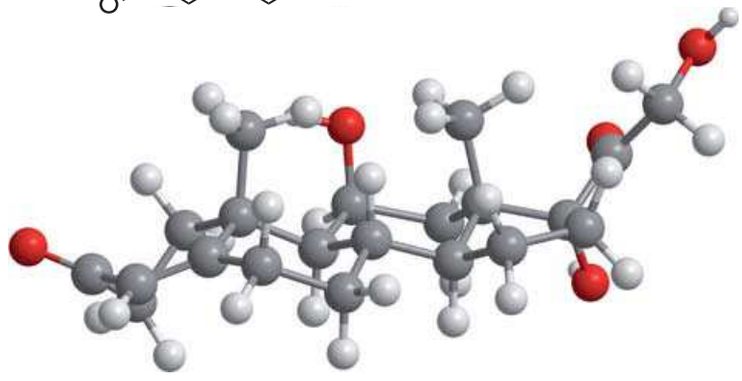
187. Esitä lyhyt perustelu, miksi

a) maito ei ole läpinäkyvä neste
b) kananmuna keitettäessä hyytyy ja sen rakenteesta tulee kiinteä
c) tärkkelystä voidaan käyttää ihmisravintona mutta ei selluloosaa
d) haavojen puhdistamiseen voidaan käyttää laimeaa vetyperoksidiliuosta
e) monet auringonsuojavoiteet sisältävät titaanioksidia
f) urheilija väsyessään selittää usein ”menneensä hapoille”.

K-12 tehtävä 5

188. Kortisoli ($C_{21}H_{30}O_5$) on steroideihin kuuluva lisämunuaisen kuorikerroksen erittämä hormoni. Kortisolia kutsutaan myös stressihormoniksi, koska psyykkinen ja fyysinen rasitus sekä mm. rakastuminen nostavat ihmisen kortisolitasoa.





a) Mitä funktionaalisia ryhmiä esiintyy kortisolin rakenteessa?
b) Kopioi kortisolin rakennekaava vastauspaperiisi. Merkitse rakennekaavaan asymmetriset (kiraaliset) hiilet.
c) Kortisolin funktionaaliset ryhmät voivat osallistua erityyppisiin reaktioihin. Esitä kolme yhdistetyypiltään erilaista kortisolin reaktiotuotetta ja laadi niiden rakennekaavat.

K-12 tehtävä 6

11 Materiaalikemia

Kun vastaat materiaalia tai kemianteollisuuden tuotetta koskevaan tehtävään, tarkastele tuotteen kemiallista rakennetta, ominaisuuksia ja valmistusta teollisuusmittakaavassa. Kirjoita reaktioyhtälöt. Kerro, miten tuotetta kannattaa valmistaa, jotta saanto on mahdollisimman suuri, mutta energiaa ja kalliita lähtöaineita ei tuhlata. Ota huomioon myös mahdolliset sivutuotteet ja muut ympäristönäkökohdat. Kerro materiaalin käyttökohteista ja perustele, miksi materiaalin ominaisuudet soveltuvat juuri tähän käyttötarkoitukseen.

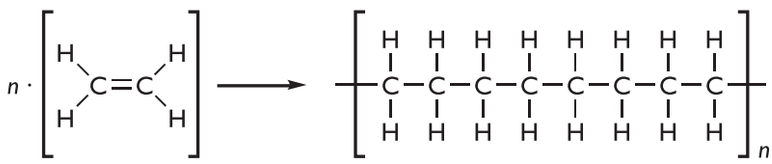
Materiaalit voidaan kemiallisen rakenteensa perusteella jakaa polymeereihin, metalleihin, keraameihin ja komposiitteihin. Kemiallisen rakenteen ymmärtäminen auttaa hahmottamaan aineen ominaisuuksia ja siten myös sen käyttötarkoituksia. Materiaalin valintaan vaikuttaa ominaisuuksien lisäksi myös hinta ja tuotteen elinkaari.

Materiaali	Polymeerit	Metallit ja metalliseokset	Keraamit	Komposiitit
Kemiallinen rakenne	Suurikokoisia molekyylejä, jotka koostuvat useista kovalenttisin sidoksin pitkäksi ketjuksi liittyneistä monomeereistä.	Metallikationien ja yhteisten elektronien muodostama hila.	Kiteisiä tai amorfisia epäorgaanisia yhdisteitä, esimerkiksi oksideja tai karbideja.	Yhdistelmämateriaaleja, joissa vähintään kaksi materiaalia.
Ominaisuudet	Yleensä kestäviä ja muokattavia.	Sähkönjohtavuus, lämmönjohtavuus, metallinkiilto, suuri tiheys.	Kovia mutta usein hauraita, kestävät kuumuutta.	Erilaisia ominaisuuksia.
Esimerkkejä	Polyeteeni (PE), polyamidi (PA), polystyreeni (PS), biopolymeerit, kuten polypeptidit, tärkkelys ja selluloosa.	Rauta, hopea, teräs, alumiini.	Savi, posliini, kivet, mineraalit, lasi, sementti, erikoiskeraamit (esim. ZrO) esimerkiksi lääketieteessä ja tietotekniikassa.	Puu (selluloosa ja ligniini), betoni (sementti, vesi ja hiekka), lasikuitu (epoksihartsi + ohut lasisäie), hiilikuitu (epoksihartsi + hiilisäie).

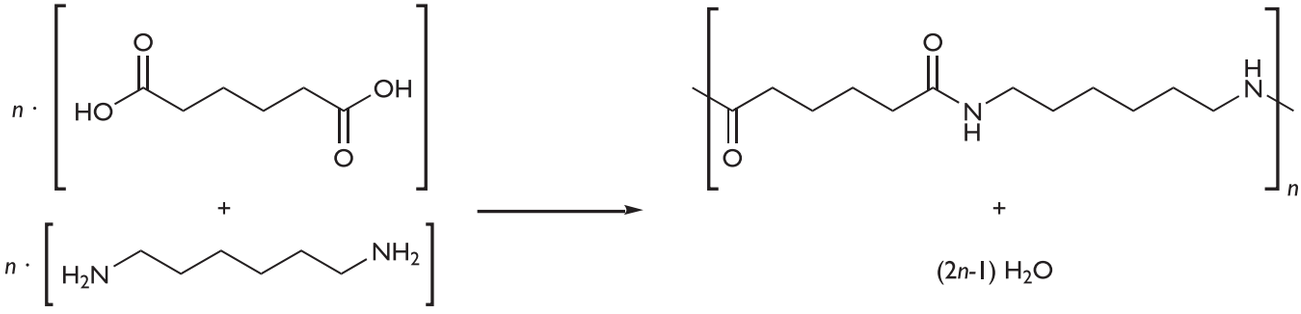
Muovit koostuvat polymeereistä ja niihin lisätyistä aineista, joilla muovin ominaisuuksia säädetään. Tällaisia ovat esimerkiksi pehmittimet, väriaineet ja UV-suoja-aineet. Polymeerejä ovat myös monet luonnon biopolymeerit, kuten DNA, selluloosa ja tärkkelys, jotka eivät ole muoveja. Muovi ei siis ole polymeerin synonyymi.

Polymeerit

Polymeerit syntyvät pienempien yksiköiden, monomeerien, liittyessä yhteen pitkäksi ketjuksi polyadditiossa tai polykondensaatiossa.



Esimerkki polyadditiosta: kaksoissidos aukeaa ja monomeerit liittyvät yhteen (polyeteenin valmistus).



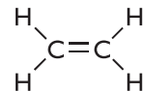
Esimerkki polykondensaatiosta: molekyylien liittyessä yhteen lohkeaa pienimolekyylinen yhdiste, tässä tapauksessa vesi. Polykondensaatiossa monomeereillä täytyy olla kaksi funktionaalista ryhmää (nailon 6,6:n valmistus).

ESIMERKKI

Monomeereistä polymeerejä

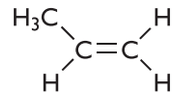
Alla on tavallisia muoveissa käytettyjä polymeerien monomeereja. Kirjoita niiden polymeroitumisreaktiot ja kerro, onko kyseessä polyadditio vai polykondensaatio. Nimeä tuote ja kerro lyhyesti sen käyttökohteista.

a)



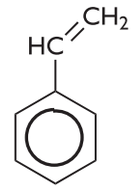
eteeni

b)



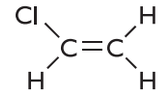
propeeni

c)



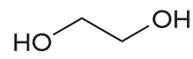
fenyylieteeni (styreeni)

d)

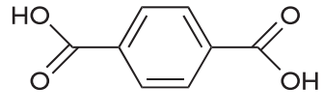


kloorieteeni (vinyylikloridi)

e)

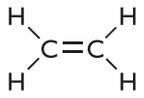
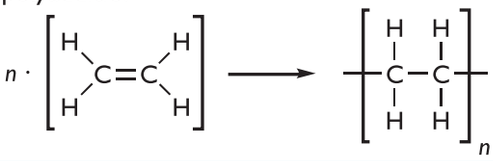
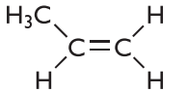
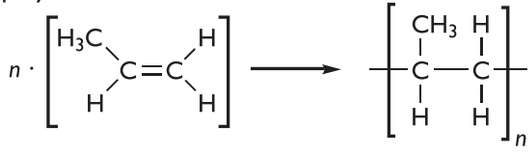
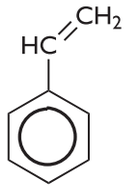
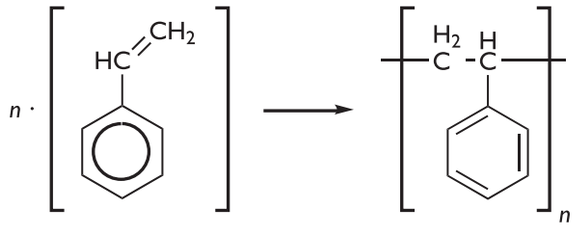
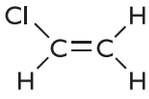
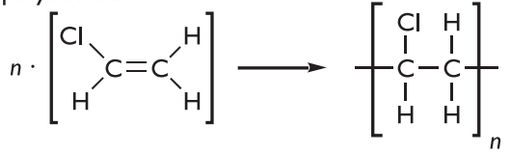
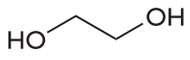
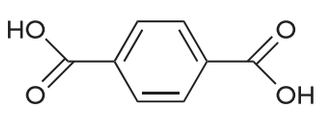
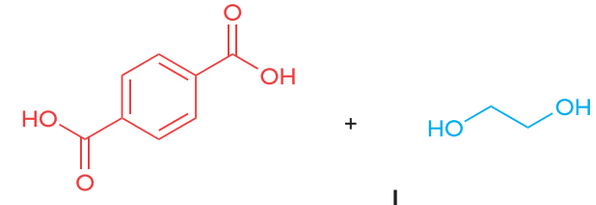
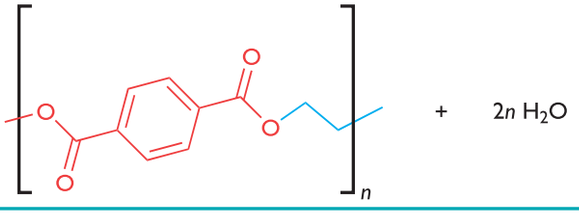


etaanidioli

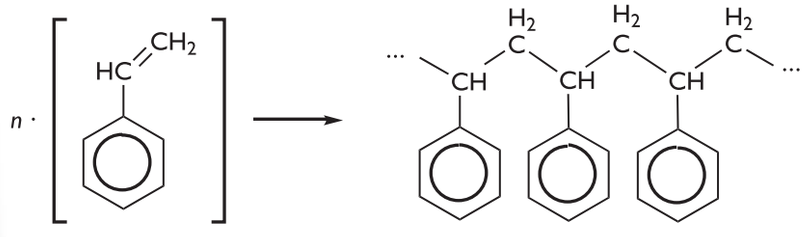


tereftaalihappo

Ratkaisu

Monomeeri(t)	Reaktio	Tuote (polymeeri)	Käyttö
 eteeni	polyadditio: 	polyeteeni	muovipussit, elintarvike-pakkaukset
 propeeni	polyadditio: 	polypropeeni	köydet, narut, tekniset alus-asut, auto-jen muoviosat, elintarvike-pakkaukset
 fenyylieteeni (styreeni)	polyadditio: 	polystyreeni	kertakäyttö-astiat, eristeet, pakkaukset
 kloorieteeni (vinyylikloridi)	polyadditio: 	polyvinyyli-kloridi	vesiputket, letkut, sade-vaatteet
 etaanidioli  tereftaalihappo	polykondensaatio:  	polyetyleeni-tereftalaatti (polyesteri)	tekstiilit

Hakasulkeissa oleva yksikkö toistuu polymeerissa lukemattomia kertoja. Esimerkiksi polystyreenin synteesi-reaktion voisi piirtää myös viereisessä kuvassa esitetyllä tavalla.



Metallit

Metallit esiintyvät luonnossa usein mineraaleina, esimerkiksi sulfideina, oksideina tai karbonaatteina. Jalometalleja tavataan myös vapaina alkuaineina. Malmi on kiviraaka-ainetta, jossa metallin pitoisuus on riittävä, jotta louhiminen on kannattavaa. Metalli erotetaan malmista kullekin metallille sopivalla tavalla. Ensimmäinen vaihe on yleensä rikastus, jossa haluttu mineraali erotetaan arvottomasta sivukivestä esimerkiksi sedimentoinnilla, vaahdotuksella tai magneettisella menetelmällä. Rikastuksen jälkeen metalli erotetaan mineraalista kullekin metallille sopivalla tavalla. Metallisulfidit muutetaan oksideiksi kuumentamalla niitä ilmavirrassa. Tätä kutsutaan pasutukseksi. Oksidit pelkistetään edelleen metalleiksi:

- Helposti hapettuvat metallit, kuten natrium ja alumiini, pelkistetään yleensä metalliksi sähkökemiallisesti. Tämä on kallis menetelmä.
- Muut voidaan pelkistää helposti hapettuvilla aineilla, esimerkiksi hiilellä, hiilimonoksidilla tai vedyllä.

Esimerkkejä

Metalli	Erottaminen mineraalista	Ominaisuudet	Käyttöesimerkkejä
Rauta	$3\ Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + CO_2$ $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3\ FeO + CO_2$ $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$	Puhdas rauta on haurasta ja ruostumiselle altista.	Rauta on käyttökelpoisinta teräksenä, jossa siihen on lisätty muita alkuaineita, esimerkiksi nikkeliä ja kromia. Nämä vahvistavat rakennetta ja suojaavat korroosiolta.
Kupari	Useita menetelmiä, esimerkiksi: $2\ CuFeS_2 + 4\ O_2 \rightarrow Cu_2S + 2\ FeO + 3\ SO_2$ $2\ Cu_2S + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Cu_2O + 2\ SO_2$ $2\ Cu_2O + Cu_2S \rightarrow 6\ Cu + SO_2$	Hyvä sähkönjohde, pehmeää ja sitkeää.	Elektroniikka, sähköjohdot.
Alumiini	Elektrolyyttinen pelkistys Anodilla: $6\ O^{2-} \rightarrow 12\ e^- + 3\ O_2$ $3\ C + 3\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2$ Katodilla: $4\ Al^{3+} + 12\ e^- \rightarrow 4\ Al$	Kevyt metalli, jonka pinnalle muodostuu korroosiolta suojaava oksidikerros.	Pakkausmateriaali, lentokoneet, muut kevyttä materiaalia vaativat käyttötarkoitukset.

Lopuksi metalli puhdistetaan esimerkiksi johtamalla siihen happea. Tällöin epäpuhtaudet, kuten hiili ja rikki, palavat oksideiksi. Helposti hapettuvia metalleja ei voida puhdistaa näin, ja ne valmistetaankin elektrolyyttisesti.

Koska metallien valmistaminen vaatii paljon energiaa ja parhaat metallivarat on jo louhittu, metallien kierrätys on yhä kannattavampaa.

Keraamit

- Keraamit ovat epäorgaanisia yhdisteitä, usein oksideja, nitridejä tai karbideja.
- Perinteiset keraamit, esimerkiksi lasi, posliini ja sementti, valmistetaan kuumentamalla alumiinisilikaattipohjaisia aineita (esimerkiksi savea tai hiekkaa).
- Erikoiskeraamit valmistetaan puhtaista metallioksideista.
- Keraamit ovat kiteisiä tai amorfisia aineita.
- Jotkin keraamit ovat suprajohteita.

Esimerkkejä

Materiaali	Valmistus	Kemiallinen rakenne	Ominaisuudet	Käyttö
Lasi	Kvartsihiekasta (SiO_2), kalkkikivestä ($CaCO_3$) ja soodasta (Na_2CO_3) kuumentamalla.	Yleisin lasi (natronkalkkilasi $NaSiO_3 \cdot CaSiO_3 \cdot nSiO_2$); amorfinen aine, ei säännöllistä kiderakennetta.	– läpinäkyvä – sähkön ja lämmön eriste	Erilaisia lasilaatuja eri käyttötarkoituksiin (esim. kuumuuden kestävä lasi).
Sementti	Kalkkikivi ja savi sekoitetaan veden kanssa. Hehkutetaan, jolloin kalsiumkarbonaatti hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Kalsiumoksidi reagoi saven mineraalien kanssa.	Mineraalikiteiden hilaan on sitoutunut vettä, ja rakennetta kuvataan kaavalla $(CaO)_x(SiO_2)_y(H_2O)_z$.	– kova – sään ja kulutuksen kestävä	Rakennusmateriaali. Veteen ja hiekkaan sekoitettuna muodostaa betonia.
Erikoiskeraamit	Puhtaista metallioksideista, karbideista tai nitrideistä erilaisilla tekniikoilla.	Esim. Al_2O_3, ZrO_2, SiC.	Erilaisia ominaisuuksia: usein kestävät erittäin hyvin kulutusta, kosteutta, kemikaaleja ja kuumuutta. Osa on suprajohteita.	Kovalle kulutukselle joutuvat osat, esimerkiksi leikkurit, porat, jarrulevyt jne. Bioinertit keraamit lääketieteessä, suprajohteet elektroniikassa.

ESIMERKKI

Materiaalien rakenteet

Selitä seuraavien materiaalien rakenteet kemiallisesti:

a) sementti
b) betoni
c) hiilikuitu
d) messinki
e) savi
f) puu.

Ratkaisu

a) Sementti on keraami, jota valmistetaan kalkkikivestä ($CaCO_3$), vedestä ja pii- ja alumiinioksidipitoisesta kiviaineksesta, kuten kvartsista tai savesta. Usein valmistuksessa käytetään myös muita mineraaleja kuten rautaoksidia (Fe_2O_3) ja alumiinioksidia (Al_2O_3). Seosta hehkutetaan, jolloin kalsiumkarbonaatti hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Kalsiumoksidi reagoi kiviaineksen silikaattien kanssa. Valettaessa seos sekoitetaan veteen, ja jähmettymisessä mineraalikiteiden hilaan sitoutuu vettä. Sementin rakennetta voidaan yksinkertaisimmillaan kuvata kaavalla $(CaO)_x(SiO_2)_y(H_2O)_z$.

b) Betoni on pääasiassa sementin, hiekan ja veden muodostama komposiittimateriaali, jossa hiekanjyväset ovat sementin muodostamassa sidosaineessa. Betonin ominaisuuksia voidaan säädellä lisäaineilla tai sitä voidaan lujittaa esimerkiksi valamalla se terästankojen ympärille, tällöin puhutaan teräsbetonista.

c) Hiilikuitu tarkoittaa tarkkaan ottaen ohutta, hiilisäikeistä koostuvaa kuitua, mutta arkikielessä hiilikuiduilla tarkoitetaan komposiittimateriaalia, jossa epoksihartsimatriisi on lujitettu ohuilla hiilikuiduilla. Epoksihartsit ovat polymeereja, joiden valmistukseen käytetään epoksidiryhmän sisältäviä monomeerejä.

d) Messinki on kuparin ja sinkin seos. Sen kemiallista rakennetta voidaan kuvata metallihilalla, jossa kupari- ja sinkkikationeja pitävät yhdessä ulkoelektronit.

e) Savella tarkoitetaan arkikielessä hienojakoista maalajia, jossa on paljon silikaatti- ja alumiinioksidipitoisia kivilajeja, pieniä määriä muita mineraaleja ja usein myös hieman orgaanista ainetta. Se on siis komposiittimateriaali, jonka koostumus vaihtelee. Esimerkiksi kaoliinisavi koostuu suurelta osin kaoliniitti-nimisestä mineraalista, jonka kemiallinen kaava on $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.

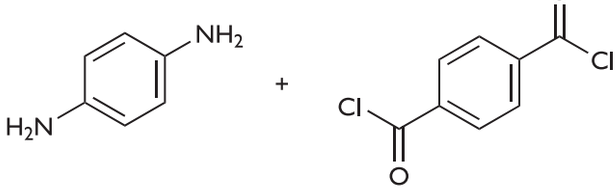
f) Puu on ligniinistä ja selluloosasta koostuva komposiittimateriaali. Selluloosa koostuu pitkistä, glukoosimolekyyleistä rakentuneista molekyyleistä, jotka sitoutuvat toisiinsa vetysidoksin. Ligniini on fenyylipropaaniyksiköistä muodostunut polymeeri.

TEHTÄVIÄ

189. a) Selitä kemiallisesti metallien ominaisuudet: metallinkiilto, läpinäkymättömyys, sähkönjohtavuus, taottavuus.
b) Miksi metalli taipuu ensin, mutta monta kertaa taivuteltaessa murtuu lopulta?

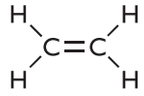
190. Metalliteollisuuden ympäristövaikutukset ovat usein merkittäviä: se kuluttaa paljon energiaa, rikkipitoisten mineraalien käsittelyssä syntyy rikkidioksidia ja rikastusvaiheessa joudutaan käyttämään haitallisia kemikaaleja. Miten metalliteollisuuden ympäristövaikutuksia voidaan pienentää?

191. Kevlar on erittäin kestävä polymeeri, jota käytetään esimerkiksi urheiluvälineissä, keittiötarvikkeissa ja kovaa kulutusta kestävissä vaatteissa. Sitä syntyy bentseeni-1,4-diamiinin ja tereftaloyylikloridin (rakennekaavat alla) polykondensaatiossa, jossa syntyy sivutuotteena vetykloridia.
a) Piirrä Kevlarin rakennekaava.

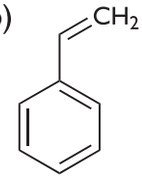


b) Kevlarin lujuus perustuu osittain polymeerisäikeiden välisiin sidoksiin. Mitkä sidokset ovat kyseessä? Osoita näiden sidosten syntymiseen vaikuttavat atomit.

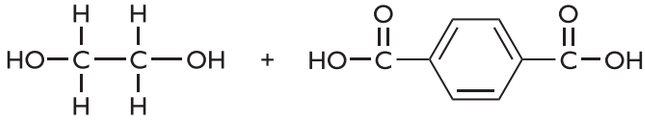
192. Onko seuraavien molekyylien polymeroitumisessa kyse polyadditiosta vai polykondensaatiosta? Kirjoita tuotteen rakennekaava.
a)



b)



c)



193. a) Mitä tarkoittaa kalkin polttaminen ja sammuttaminen? Kirjoita reaktioyhtälöt.
b) Miksi happamoittavat päästöt vahingoittavat marmorista ja kalkkikivestä tehtyjä patsaita ja rakennuksia?
c) Mitä ympäristölle haitallista ainetta syntyy sementin valmistuksessa?

194. Tarkastele seuraavien materiaalien kemiallista rakennetta ja ominaisuuksia.
a) lasi
b) puu
c) muovi
d) teräs

195. Ammoniakki, typpihappo ja rikkihappo ovat kemianteollisuuden keskeisiä tuotteita. Miten näitä aineita voidaan teollisesti valmistaa ja mihin niitä käytetään?

YLIOPPILASTEHTÄVIÄ

196. Titaani on luja, kevyt ja korroosiota kestävä metalli, jota käytetään mm. lentokoneissa, polkupyörien rungoissa ja raketeissa. Sitä valmistetaan titaani(IV)kloridin ja sulan magnesiumin välisessä reaktiossa lämpötilassa 950–1150 °C.

$TiCl_4(g) + 2\ Mg(l) \rightarrow Ti(s) + 2\ MgCl_2(g)$

Eräässä teollisuusprosessissa lähtöaineina käytettiin 35,4 kg $TiCl_4$ ja 8,3 kg magnesiumia. Kuinka monta kilogrammaa titaania voidaan saada?

K-06 tehtävä 2

197. Synteettiset orgaaniset polymeerit. Tarkastele erilaisia polymeroitumisreaktiotyyppejä. Miten polymeerit eroavat ominaisuuksiltaan ja käyttötarkoitukseltaan?

S-07 tehtävä +11

198. Ensimmäiset maininnat ruudista ovat Kiinasta 900-luvulta, jolloin sitä käytettiin ilotulitteena. Ruutia tiedetään käytetyn sodankäynnissä Euroopassa jo 1200-luvulla, mutta vasta 1800-luvun loppupuolella keksitty savuton ruuti mahdollisti konetuliaseiden käytön. Merkittävää edistymistä merkitsi Alfred Nobelin 1867 keksimä turvallinen tapa käsitellä nitroglyserolia. Uutta räjähdysainetta Nobel kutsui dynamiitiksi, ja tämän keksinnon avulla luotu omaisuus on perustana Nobelin palkinnoille. Nykyisin erilaisia räjähteitä valmistetaan muun muassa louhintaan, sotilaskäyttöön ja ilotulitteisiin. Mihin räjähdysvaikutus perustuu? Tarkastele joitakin tavallisia räjähdysaineita, niiden koostumusta ja reaktioita sekä tyypillistä käyttötarkoitusta.

K-08 tehtävä +11A

199. Syanidin haitallisista ympäristövaikutuksista huolimatta suurin osa maailmalla tuotetusta kullasta saadaan yhä menetelmällä, jossa malmissa oleva metallinen kulta liuotetaan ensin syanidiliuokseen:

$Au(s) + CN^-(aq) + O_2(g) + H_2O(l) \rightarrow Au(CN)_4^-(aq) + OH^-(aq)$

Tämän jälkeen kulta pelkistetään vapaaksi metalliksi sinkillä:

$Au(CN)_4^-(aq) + Zn(s) + CN^-(aq) \rightarrow Au(s) + Zn(CN)_4^{2-}(aq)$

a) Tasapainota edellä esitetyt reaktioyhtälöt. (4 p.)

b) Kuinka monta grammaa sinkkiä tarvitaan, kun tuotteena halutaan saada 31,3 g kultaa? (2 p.)

S-08 tehtävä 2

200. Vertaa toisiinsa kahta metallista alkuainetta, natriumia ja kuparia. Tarkastele niiden esiintymistä luonnossa, fysikaalisia ominaisuuksia ja kemiallisia reaktioita. Miten näitä metalleja voidaan tuottaa teollisesti, ja mihin niitä voidaan käyttää?

S-97 tehtävä +8

201. Ammoniakki kuuluu kemian teollisuuden tärkeimpiin yhdisteisiin. Suurin osa tuotetusta ammoniakista käytetään lannoitteiden valmistukseen. Miten ammoniakkia valmistetaan teollisuuden tarpeisiin ja miten sitä voidaan tehdä laboratorio-oloissa? Tarkastele myös ammoniakkimolekyylin rakennetta ja ammoniakin kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia.

S-08 tehtävä +11

OSA 3

Käsitteet
Hakemisto
Vastaukset

Käsitteet

Käsiteluettelossa käsitteet on määritelty lukion kemian oppimäärä huomioiden. Käsiteluettelossa ei ole määritelty kaikkia taulukkokirjasta löytyviä vakioita ja suureita.

Additioreaktio *Addition reaction*	Ks. liittymisreaktio.
Aineen häviämättömyyden laki *Law of mass conservation*	Ainetta ei synny eikä häviä tyhjästä. Kemiallisessa reaktiossa aineen kokonaismassa ja -varaus säilyvät muuttumattomina.
Aineen rakenneosa *Unit of matter, component of matter*	Aineen pienin yksikkö, joka määrää, mistä aineesta on kyse. Rakenneosa voi olla atomi, molekyyli tai erimerkkisten ionien muodostama yksikkö.
Aktinoidit *Actinoid series*	Jaksollisen järjestelmän alkuaineet (järjestysluku 89–103) aktiniumista eteenpäin, joilla 5f-orbitaali täyttyy.
Aktivoitumisenergia E_a *Activation energy*	Pienin mahdollinen energia, joka tarvitaan reaktion käynnistämiseen.
Alailmakehän otsoni *Tropospheric ozone*	Otsoni (O_3), jota syntyy happimolekyylin ja happiradikaalin reagoidessa keskenään pääasiassa lähellä maan pintaa. Sitä muodostuu liikenteen päästöjen ja ilman hapen reagoidessa auringon valon vaikutuksesta.
Aldehydi *Aldehyde*	Yhdiste, jonka toiminnallinen ryhmä on hiiliketjun päässä sijaitseva karbonyyliryhmä. Muodostuu primäärisen alkoholin hapettuessa.
Aldoosi *Aldose*	Monosakkaridi, joka avoketjuisena sisältää aldehydiryhmän.
Alfakierre (α-kierre) *Alpha helix, α helix*	Proteiinin sekundäärirakenne, jossa polypeptidiketju kietoutuu spiraaliksi vetysidosten avulla.
Alifaattinen yhdiste *Aliphatic compound*	Orgaaninen yhdiste, jolla ei ole aromaattista luonnetta.
Alkaani *Alkane*	Avoketjuinen hiilivety, jossa kaikki hiiliatomien väliset sidokset ovat yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia. Alkaanien yleiskaava on C_nH_{2n+2}.
Alkeeni *Alkene*	Hiilivety, jossa hiiliatomien ketjussa on yksi hiiliatomien välinen kaksoissidos. Alkeenien yleiskaava on C_nH_{2n}.
Alkoholikäyminen *Alcoholic fermentation*	Solun energiantuottotapa, jossa glukoosi hajoaa entsyymien katalysoimana hapettomissa olosuhteissa. Reaktiotuotteina muodostuu etanolia ja hiilidioksidia.
Alkuaine *Element*	Aine, joka koostuu vain protonimäärältään samanlaisista atomeista.
Alkyyni *Alkyne*	Hiilivety, jossa hiiliatomien ketjussa on yksi hiiliatomien välinen kolmoissidos. Alkyynien yleiskaava on C_nH_{2n-2}.
Allotropia *Allotropy*	Allotropialla tarkoitetaan alkuaineiden kykyä esiintyä samassa paineessa ja lämpötilassa erilaisissa kemiallisissa muodoissa. Esimerkiksi hapen kaksi yleisintä allotrooppista muotoa ovat O_2 ja O_3.

Amfoteerinen *Amphoteric*	Aine, jolla on sekä happo- että emäsluonnetta.
Amidi (orgaaninen amidi) *Amide*	Yhdisteryhmä tai funktionaalinen ryhmä, jossa karbonyyliryhmä on liittyneenä typpiatomiin.
Amiini *Amine*	Orgaaninen yhdiste, jonka toiminnallinen ryhmä on aminoryhmä (R–NH_2, R_2NH tai R_3N). Amiinit ovat emäksiä eli ne voivat vastaanottaa protonin H^+.
Aminohappo *Amino acid*	Orgaaninen yhdiste, joka sisältää kaksi toiminnallista ryhmää, aminoryhmän ja karboksyyliryhmän.
Aminohappotähde *Amino acid residue*	Peptidiketjussa oleva yksittäinen aminohappo.
Amorfinen aine *Amorphous solid*	Kiinteä aine, jolla ei ole säännöllistä kiderakennetta eikä siksi myöskään tarkkaa sulamispistettä. Esimerkiksi lasi ja monet polymeerit ovat amorfisia aineita.
Anioni *Anion*	Negatiivisesti varautunut ioni.
Anodi *Anode*	Elektrodi, jolla tapahtuu hapettuminen.
Antioksidantti *Antioksidant*	Yhdiste, joka estää toisten yhdisteiden hapettumista.
Aromaattinen yhdiste *Aromatic compound*	Orgaaninen yhdiste, joka sisältää vähintään yhden bentseenirenkaan tai heterosyklisen renkaan, jolla on aromaattista luonnetta. Yksittäisellä aromaattisella renkaalla on tavallisesti kuusi delokalisoitunutta π-elektronia.
Asymmetrinen hiiliatomi *Asymmetric carbon*	Hiiliatomi, johon on liittynyt neljä erilaista atomia tai atomiryhmää. Hiiliatomia kutsutaan kiraliakeskukseksi ja sitä merkitään rakennekaavassa tähdellä.
Atomi *Atom*	Atomi on kunkin alkuaineen pienin kemiallisesti tunnistettava rakenneosa. Atomien ytimet koostuvat positiivisesti varautuneista protoneista (p^+) ja varauksettomista neutroneista (n^0). Ytimen ympärillä elektroniverhossa ovat negatiivisesti varautuneet elektronit (e^-).
Atomiorbitaali *Atomic orbital*	Atomiorbitaali on kvanttimekaanisen aaltomallin ratkaisu elektronin aaltoyhtälölle. Atomiorbitaali visualisoi elektronin todennäköisintä sijaintia atomin avaruusrakenteessa.
ATP, ADP, AMP *ATP, ADP, AMP*	Adenosiinitrifosfaatti, adenosiinidifosfaatti ja adenosiinimonofosfaatti. ATP on emäsosan (adeniini), sokeriosan (riboosi) ja kolme fosfaattiosaa sisältävä yhdiste, jota käytetään soluissa energian siirtämiseen ja lyhytaikaiseen varastointiin. Kun ATP:sta irtoaa yksi fosfaattiosa, siitä tulee ADP:ta ja toisen fosfaattiosan irrotessa AMP:ta. Näiden reaktioiden lopputuotteiden muodostuessa vapautuu solun käyttöön energiaa. Vastaavasti ATP:n muodostuessa sitoutuu energiaa.
Autoprotolyysi *Autoprotolysis*	Kahden identtisen molekyylin välinen protoninsiirtoreaktio.
Avaruusisomeria *Stereoisomerism*	Isomerian laji, jossa molekyyleillä on sama rakenne, mutta atomit tai atomiryhmät suuntautuvat eri tavoin, jolloin molekyylien muoto on erilainen. Avaruusisomeria voidaan jakaa mm. konformaatio-, *cis-trans*- ja peilikuvaisomeriaan (enantiomeria).
Avogadron vakio *Avogadro's constant*	Avogadron vakio N_A ilmaisee yhdessä moolissa olevien rakenneosasten lukumäärän. $N_A \approx 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$.
Avoketjuinen yhdiste *Open chain compound*	Orgaanisen yhdisteen molekyylirakenne, jossa atomit eivät muodosta rengasrakenteita.
Beetalaskos, -levy (β-laskos, -levy) *Beta sheet, β sheet*	Proteiinien sekundäärirakenne, jossa polypeptidiketju laskostuu levymäiseksi rakenteeksi vetysidosten avulla.

Bentseeni *Benzene*	Kuuden hiiliatomin muodostama rengasrakenne C_6H_6, jossa kaikki hiiliatomien väliset sidokset ovat samanlaisia. Renkaan atomien p-orbitaalit ovat yhdistyneet koko renkaan yhteiseksi molekyyliorbitaaliksi.
Betoni *Concrete*	Rakennusmateriaali, jonka pääraaka-aineita ovat sementti, hiekka ja vesi.
Biopolymeeri *Biopolymer*	Luonnossa esiintyvä polymeeri, esimerkkinä selluloosa, DNA ja erilaiset proteiinit.
CFC-yhdiste *CFC compound*	Hiiltä, vetyä, klooria ja fluoria sisältävä yhdiste. CFC-yhdisteitä on käytetty esimerkiksi kylmälaitteissa ja aerosoleissa. UV-säteily voi irrottaa niistä halogeeniradikaaleja, jotka katalysoivat otsonin hajoamista stratosfäärissä. CFC-yhdisteet tunnetaan myös nimellä freonit.
Cis-trans-isomeria *Cis-trans isomerism*	Avaruusisomerian laji, jossa eri isomeriamuotojen erilaisuus aiheutuu atomien sijoittumisesta eri tavoin kaksoissidoksen tai rengasrakenteen molemmille puolille. *Cis*-muodossa vierekkäisiin hiiliatomeihin liittyneet samanlaiset ryhmät ovat kaksoissidoksen tai renkaan samalla puolella, *trans*-muodossa eri puolilla.
Dehydraus *Dehydrogenation*	Eliminaatioreaktio, jossa molekyylistä poistuu vetyä H_2.
Delokalisoituminen *Delocalization*	Atomien p-orbitaalien sulautuminen yhteen niin, että elektronit ovat levittäytyneet useamman kuin kahden atomin käyttöön. Delokalisoitumista tapahtuu mm. bentseenirenkaan p-orbitaalien elektroneilla ja konjugoituneiden kaksoissidosten p-orbitaalien elektroneilla.
Denaturoituminen *Denaturation*	1. Polypeptidiketjun, proteiinin tai nukleiinihapon toimivan kolmiulotteisen muodon muutos, jonka seurauksena ne eivät pysty toimimaan normaalisti. Denaturoituminen voi tapahtua esimerkiksi lämpötilan tai pH:n muutoksen vaikutuksesta. 2. Alkoholin denaturoituminen tarkoittaa etanolin muuttamista juomakelvottomaksi mm. lisäämällä siihen haju- ja makuaineita sekä esimerkiksi laksatiivisia aineita.
Denitrifikaatio *Denitrification*	Typen pelkistäminen nitraateista typpikaasuksi. Denitrifikaatiosta vastaavat denitrifikaatiobakteerit.
Diffuusio *Diffusion*	Ilmiö, jossa pitoisuuserot tasoittuvat lämpöliikkeen vaikutuksesta.
Dipeptidi *Dipeptide*	Kahden aminohappomolekyylin kondensaatioreaktion tuote, jossa molekyylien välillä on amidisidos. Ks. peptidisidos.
Dipoli *Dipole*	Dipoli eli poolinen molekyyli on sähköisesti epäsymmetrinen molekyyli. Molekyylissä on toisistaan erillään olevat positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet osat.
Dipoli-dipolisidos *Dipole-dipole interaction*	Poolisten molekyylien välinen sähköisen vuorovaikutuksen aiheuttama heikko sidos. Vuorovaikutuksen voimakkuus riippuu mm. molekyylien välisestä etäisyydestä ja molekyylien keskinäisestä suuntautumisesta.
Disakkaridi *Disaccharide*	Kahden monosakkaridin kondensaatioreaktiossa muodostunut yhdiste. Disakkarideja ovat mm. sakkaroosi eli ruokosokeri ja laktoosi eli maitosokeri.
Dispersiovoimat *Dispersion force, London force*	Atomien tai molekyylien hetkellisestä dipoliluonteesta johtuva heikko rakenneosien välinen sidosvoima.
Dissosioituminen *Dissociation*	Tapahtuma, jossa kemiallisia sidoksia katkeaa esimerkiksi liukenemisessa tai lämmön vaikutuksesta.
DNA *DNA*	Deoksiribonukleiinihappo. Suuri, nukleotideista koostuva biopolymeeri, joka sisältää solun perinnöllisen informaation eli geenit.

Dynaaminen tasapaino *Dynamic equilibrium*	Tasapainoreaktion tila, jossa etenevän ja palautuvan reaktion nopeudet ovat yhtäsuuret.
Eetteri *Ether*	Orgaaninen yhdiste, jonka toiminnallinen ryhmä on eetterihappi (happisilta). Eettereissä happiatomiin liittyneet hiiliatomit eivät ole karbonyyliryhmän osana.
Eksoterminen reaktio *Exothermic reaction*	Lämpöä vapauttava reaktio ($\Delta H < 0$). Ks. entalpia.
Ekvivalenttikohta *Equivalence point*	Titrauksessa reaktioyhtälön mukainen kohta, jossa tutkittava aine on reagoinut kokonaan titrausliuoksen kanssa. Esimerkiksi happo-emästitrauksessa kohta, jossa happo tai emäs on kokonaan neutraloitunut.
Elektrodi *Electrode*	Sähköä johtava pinta tai materiaali, jonka kautta sähkö siirtyy väliaineeseen tai väliaineesta virtapiiriin.
Elektrolyysi *Electrolysis*	Tapahtuma, jossa sähköenergian avulla saadaan aikaan hapettumis- ja pelkistymisreaktioita.
Elektrolyytti *Electrolyte*	Ioneja sisältävä liuos tai suolasulate, joka johtaa sähköä.
Elektronegatiivisuus *Electronegativity*	Elektronegatiivisuudella kuvataan sidoksessa olevan atomin kykyä vetää sidoselektroneja puoleensa.
Elektroni *Electron*	Elektroni on negatiivisesti varautunut alkeishiukkanen, jonka varauksen suuruus on alkeisvarauksen suuruinen, $e \approx 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C. Elektronin massa on noin 1/1845 protonin massasta.
Elektroniaffiniteetti *Electron affinity*	Energia, joka vapautuu, kun kaasumaiseen atomiin tai molekyyliin liittyy yksi elektroni.
Eliminaatioreaktio *Elimination reaction*	Reaktio, jossa yhdisteestä lohkeaa pienimolekyylinen yhdiste. Addition käänteisreaktio.
Eloksointi *Electrolytic oxidation*	Metallin pintakäsittely, jossa metallin pinnalle muodostuu suojaava oksidikerros sähkövirran vaikutuksesta.
Empiirinen kaava *Empirical formula*	Ks. suhdekaava.
Emäksinen *Alkaline, basic*	Liuos on emäksinen, jos $n(OH^-) > n(H_3O^+)$.
Emäksinen suola *Alkaline/basic salt*	Suola, jonka vesiliuos on emäksinen.
Emäs *Base*	Aine, joka voi ottaa vastaan vetyionin eli protonin H^+ (Brønsted-Lowry).
Emäsvakio K_b *Base dissociation constant*	Emäksen ja veden välisen reaktion tasapainovakio. Emäsvakion suuruudesta voidaan päätellä, kuinka suuri osa emäksestä on protolysoitunut.
Enantiomeria *Enantiomerism*	Ks. peilikuvaisomeria.
Endoterminen reaktio *Endothermic reaction*	Lämpöä sitova reaktio ($\Delta H > 0$). Ks. entalpia.
Entalpia, H *Enthalpy*	Kuvaa systeemin sisäistä energiaa. Entalpiaa ei voida määrittää, mutta entalpian eli reaktiolämmön muutos ΔH on määritettävissä.
Entropia *Entropy*	Kuvaa systeemin epäjärjestyksen määrää.

Entsyymi *Enzyme*	Biologinen katalyytti. Entsyymit ovat proteiineja, jotka katalysoivat solujen aineenvaihduntareaktioita. Katalyysi perustuu entsyymin muotoon ja kemiallisiin vuorovaikutuksiin substraatin kanssa.
Epäjalo metalli *Base metal*	Metalli, joka reagoi happojen vesiliuosten kanssa pelkistäen vetyä.
Epämetalli *Nonmetal*	Alkuaine, joka ei ole metalli eikä puolimetalli.
Epämääräisyysperiaate *Uncertainty principle, Heisenberg principle*	Pienelle hiukkaselle, kuten elektronille, on mahdoton määrittää samanaikaisesti tarkka paikka ja nopeus.
Esteri *Ester*	Yhdiste, joka muodostuu esimerkiksi alkoholin ja hapon kondensaatioreaktiossa. Toiminnallinen ryhmä on esteriryhmä.
Esteröityminen *Esterification*	Reaktio, jossa muodostuu esteriä esimerkiksi karboksyylihaposta ja alkoholista.
Faasi *Phase*	Alue, jolla materiaalin fysikaaliset ominaisuudet ovat samanlaiset.
Faradayn vakio *Faraday constant*	Yhden elektronimoolin sisältämä sähkömäärä, $F = 96485$ As/mol.
Fenoli *Phenol*	Orgaaninen yhdiste, jossa on fenolinen hydroksyyliryhmä eli hydroksyyliryhmä, joka on liittynyt suoraan bentseenirenkaaseen.
Fosfolipidi *Phospholipid*	Lipidi, johon fosforihappo on liittynyt esterisidoksella.
Fotosynteesi (yhteyttäminen) *Photosynthesis*	Reaktiosarja, jossa auringon valon sisältämä energia sitoutuu glukoosin kemialliseksi energiaksi. Fotosynteesi tapahtuu kasvien viherhiukkasissa. $6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$
Funktioisomeria (yhdistetyyppi-isomeria) *Functional isomerism*	Rakenneisomerian laji, jossa eri isomeereillä on erilaiset toiminnalliset eli funktionaaliset ryhmät.
Funktionaalinen ryhmä *Functional group*	Ks. toiminnallinen ryhmä.
Galvaaninen kenno/ galvaaninen pari *Galvanic cell*	Ks. sähkökemiallinen pari.
Galvanointi *Galvanization*	Metallin päällystäminen toisella metallilla. Yleisesti galvanoinnilla tarkoitetaan teräksen päällystämistä sinkillä. Päällystys voidaan tehdä joko upottamalla teräskappale sulaan sinkkiin tai elektrolyyttisesti.
Haber-Bosch-menetelmä *Haber-Bosch process*	Teollinen ammoniakin valmistusprosessi.
Hapan *Acidic*	Liuos on hapan, jos $n(H_3O^+) > n(OH^-)$.
Hapan laskeuma *Acid deposition*	Typen ja rikin oksideja ja niiden muodostamia happoja sisältävä laskeuma. Hapan laskeuma vaurioittaa kasvien lehtiä ja neulasia, happamoittaa maaperää ja vesistöjä sekä liuottaa maaperästä metalleja.
Hapan sade (happosade) *Acid rain*	Ks. märkä laskeuma.

Hapan suola *Acidic salt*	Suola, jonka vesiliuos on hapan.
Hapetin *Oxidizing agent, oxidant, oxidizer*	Aine, joka voi hapettaa toisen aineen pelkistymällä itse.
Hapettuminen *Oxidation*	Hapettuminen on reaktio, jossa aine luovuttaa elektroneja joko kokonaan tai osittain. Orgaanisissa yhdisteissä hapettuminen näkyy happiatomien lisäyksenä ja/tai vetyatomien määrän vähenemisenä.
Hapettumis-pelkistymisreaktio (hapetus-pelkistysreaktio) *Oxidation-reduction reaction, redox reaction*	Kemiallinen reaktio, jossa yksi tai useampi elektroni siirtyy aineelta toiselle joko kokonaan tai osittain. Elektroneja luovuttanut aine hapettuu ja vastaanottava aine pelkistyy. Hapettumis-pelkistymisreaktiot tapahtuvat aina samanaikaisesti.
Hapetusluku *Oxidation state*	Sähkövaraus tai laskennallinen sähkövaraus, jonka atomi saa, jos kunkin sidoksen elektronit katsotaan kuuluvan elektronegatiivisimmalle atomille. Vapaan alkuaineen hapetusluku on määritelty nollaksi.
Happihappo *Oxoacid, oxyacid*	Happiatomeja sisältävä happo, joka koostuu vähintään kolmesta eri alkuaineesta. Esimerkiksi rikkihappo, typpihappo ja fosforihappo.
Happikato *Oxygen depletion*	Happikato syntyy rehevöityneeseen vesistöön, kun vesistön pohjaan vajoaa runsaasti kuollutta kasvimassaa. Kasvimassan hajotus kuluttaa veteen liuennutta happea, ja siksi erityisesti pohjaan voi syntyä happikato, jonka seurauksena happea tarvitsevat eliöt kuolevat. Happikato syntyy erityisen helposti talvella, kun veteen ei pääse liukenemaan uutta happea jään läpi.
Happo *Acid*	Aine, joka voi luovuttaa veteen protonin H^+ (Brønsted-Lowry).
Happoanhydridi *Acid anhydride*	Ks. karboksyylihappoanhydridi.
Happo-emäsindikaattori *Acid-base indicator*	Ks. pH-indikaattori.
Happo-emäspari *Acid-base pair*	Happo ja sitä vastaava emäs, esimerkiksi suolahappo HCl ja emäksenä toimiva kloridi-ioni Cl^-.
Happovakio K_a *Acid ionization constant*	Hapon ja veden välisen protoninsiirtoreaktion tasapainovakio.
Heikko emäs *Weak base*	Emäs, jonka rakenneosista vain osa vastaanottaa protonin vedessä (Brønsted-Lowry).
Heikko happo *Weak acid*	Happo, jonka rakenneosista vain osa luovuttaa protonin vedessä (Brønsted-Lowry).
Heikko sidos *Intermolecular force*	Molekyylien välinen sidos. Heikot sidokset voivat olla etenkin suurilla molekyyleillä myös molekyylin sisäisiä. Heikkoja sidoksia ovat mm. dispersiovoimat, vetysidokset, muut dipoli-dipolisidokset ja ioni-dipolisidokset.
Henderson-Hasselbalchin yhtälö *Henderson-Hasselbalch equation*	Happovakion yhtälön yksi esitystapa $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a + \lg\frac{[\mathrm{A}^-]}{[\mathrm{HA}]}$, jonka avulla voidaan laskea puskuriliuoksen pH.
Hessin laki *Hess's law*	Reaktion entalpian kokonaismuutos on sama riippumatta siitä, tapahtuuko reaktio suoraan tai eri välivaiheiden kautta.

Heterogeeninen seos *Heterogeneous mixture*	Seos, jossa on vähintään kaksi eri faasia.
Heterogeeninen tasapaino *Heterogeneous equilibrium*	Tasapainotila, jossa kaikki reaktioon osallistuvat aineet eivät ole samassa faasissa.
Heterosyklinen yhdiste *Heterocyclic compound*	Rengasrakenteinen yhdiste, jonka renkaassa on vähintään kahden eri alkuaineen atomeja.
Hiilihydraatti *Carbohydrate*	Yhdiste, jonka empiirinen kaava on yleensä $C_m(H_2O)_n$. Hiilihydraatteja ovat monosakkaridit, disakkaridit ja polysakkaridit.
Hiilivety *Hydrocarbon*	Vain hiili- ja vetyatomeja sisältävä orgaaninen yhdiste.
Hila *Lattice*	Kiinteän aineen rakenneosien järjestys.
Hitaasti hajoavat orgaaniset ympäristömyrkyt *Persistent organic pollutants, POPs*	Ympäristössä hitaasti hajoavia yhdisteitä, joista useimmat ovat aromaattisia, halogenoituja hiilivetyjä. Monet ovat myös rasvaliukoisia ja kertyvät siksi eliöiden rasvakudokseen.
Homogeeninen seos *Homogeneous mixture*	Seos, jossa on vain yksi faasi.
Homogeeninen tasapaino *Homogeneous equilibrium*	Tasapainotila, jossa kaikki reaktioon osallistuvat aineet ovat samassa faasissa.
Hundin sääntö *Hund's rule*	Elektronit sijoittuvat saman alatason orbitaaleille samansuuntaisin spinein (parittomina) niin kauan kuin mahdollista.
Hybridisaatio, hybridisoituminen *Hybridization*	S- ja p-orbitaalien muuntuminen energialtaan samankaltaisiksi sp^3-, sp^2- tai sp-hybridiorbitaaleiksi sidoksen muodostuessa.
Hydratoituminen, hydrataatio *Hydration*	1. Vesimolekyylien sitoutuminen ioneihin ioni-dipolisidoksin. 2. Vesimolekyylin additioreaktio hiiliatomien väliseen kaksoissidokseen.
Hydraus *Hydrogenation*	Additioreaktio, jossa kaksois- tai kolmoissidokseen liittyy vetymolekyyli tai vetymolekyylejä H_2.
Hydroksidi-ioni *Hydroxide ion*	OH^--ioni. Muodostuu esimerkiksi emäksen reagoidessa veden kanssa.
Hydroksyyliryhmä *Hydroxyl group*	–OH-ryhmä. Esimerkiksi alkoholien toiminnallinen ryhmä.
Hydrolyysi *Hydrolysis*	Kondensaation käänteisreaktio, jossa yksi molekyyli hajoaa kahdeksi molekyyliksi, kun siihen liittyy vesimolekyyli H_2O.
Härmistyminen *Deposition*	Olomuodonmuutos, jossa kaasu muuttuu kiinteäksi ilman nestemäistä välitilaa.
Ideaalikaasu *Ideal gas*	Kaasu, joka noudattaa tarkasti kaasujen yleistä tilayhtälöä $pV = nRT$.
Ilmastonmuutos *Climate change*	Ihmisen toiminnasta johtuva ilmaston muuttuminen kasvihuoneilmiön kiihtymisen seurauksena.
Inhibiittori *Inhibitor*	Aine, joka hidastaa reaktion nopeutta tai estää sen kokonaan.

Ioni-dipolisidos *Ion-dipole attraction/ interaction/bond/force*	Ionin ja poolisen molekyylin välinen vetovoima.
Ionimekanismi *Polar mechanism*	Reaktiomekanismi, jossa sidos katkeaa niin, että toinen atomi saa molemmat elektronit ja syntyy kaksi erimerkkistä ionia. Ionimekanismi tapahtuu yleensä silloin, kun katkeava sidos on poolinen.
Ionisidos *Ionic bond*	Kahden vastakkaismerkkisen ionin välinen sidos. Muutos kovalenttisesta sidoksesta ionisidokseen on liukuva: jos sidoksella on yli 50 % ioniluonnetta, sidosta kutsutaan ionisidokseksi.
Ionisoitumisenergia *Ionization energy*	Pienin energia, joka tarvitaan elektronin irrottamiseen perustilassa olevalta neutraalilta atomilta tai molekyyliltä.
Ionitulo *Ionic product*	Ionitulon Q lauseke on vastaava kuin liukoisuustulon K_s lauseke, mutta siihen sijoitetaan ionien tarkasteluhetken konsentraatiot liuoksessa. Vrt. liukoisuustulo. Jos $Q > K_s$, liuos on ylikylläinen ja suolaa saostuu, jos $Q = K_s$, kyseessä on kylläinen liuos ja jos $Q < K_s$, suolaa voi vielä liueta liuottimeen.
Isomeria *Isomerism*	Yhdisteet, joilla on sama molekyylikaava, mutta eri rakenne, ovat toistensa isomeerejä. Isomeria voidaan jakaa kahteen päälajiin, rakenne- eli konstituutioisomeriaan ja avaruus- eli stereoisomeriaan.
Isotooppi *Isotope*	Saman alkuaineen atomit, joiden ytimessä on eri määrä neutroneja.
Jakso (jaksollisessa järjestelmässä) *Period*	Jaksollisen järjestelmän vaakarivi.
Jalometalli *Noble metal*	Metalli, jonka pelkistymispotentiaali on suurempi kuin vedyn. Jalometalli ei vapauta vetyä vesiliuoksesta.
Järjestysluku *Atomic number*	Atomin järjestysluku (Z) kertoo alkuaineen atomin ytimessä olevien protonien lukumäärän. Määrittää alkuaineen paikan jaksollisessa järjestelmässä.
Kaasujen yleinen tilanyhtälö *Ideal gas law*	Yhtälö, joka pätee tarkasti ideaalikaasuilla: $pV = nRT$.
Kahtaisioni (sisäinen suola) *Zwitterion*	Neutraali yhdiste, jolla on positiivinen ja negatiivinen sähkövaraus. Yleensä tarkoitetaan sellaista yksikköä, jossa varaukset eivät ole vierekkäisissä atomeissa. Kahtaisioni muodostuu esimerkiksi aminohappomolekyyleillä, kun karboksyyliryhmä luovuttaa protonin aminoryhmälle.
Kaksoissidos *Double bond*	Kovalenttinen sidos, jossa atomeilla on kaksi yhteistä sidoselektroniparia.
Kalorimetri *Calorimeter*	Laite, jolla mitataan reaktiolämpö. Yleensä eristävä astia, johon on liitetty lämpömittari.
Karboksyylihappo *Carboxylic acid*	Orgaaninen yhdiste, jonka toiminnallinen ryhmä on karboksyyliryhmä. Voi luovuttaa protonin vesiliuoksessa eli toimia happona.
Karboksyylihappoanhydridi *Carboxylic acid anhydride*	Orgaaninen yhdiste, joka muodostuu, kun karboksyylihappomolekyylit reagoivat keskenään kondensaatioreaktiolla. Reaktiossa muodostuu myös vettä.
Karboksyyliryhmä *Carboxyl group*	Karboksyylihappojen toiminnallinen ryhmä –COOH.
Karbonyyliryhmä *Carbonyl group*	Toiminnallinen ryhmä, jossa hiiliatomiin liittyy kaksoissidoksella happiatomi >C=O. Mm. aldehydien, ketonien, karboksyylihappojen, karboksyylihappoanhydridien, estereiden ja amidien rakenteessa esiintyvä ryhmä.

Karsinogeeni *Carcinogen*	Syövälle altistava aine. Monet karsinogeenit aiheuttavat mutaatioita eli vaurioittavat DNA:ta.
Kasvihuoneilmiö *The greenhouse effect*	Ilmiö, joka johtuu siitä, että osa ilmakehän kaasuista päästää lävitseen Auringon UV-säteilyä, mutta absorboi maapallon pinnalta tulevaa pitkäaaltoista lämpösäteilyä (IR) ja emittoi sen takaisin maan pinnalle.
Kasvihuonekaasu *Greenhouse gas*	Kasvihuoneilmiötä aiheuttava kaasu. Kasvihuonekaasuista merkittävimmät ovat vesi, hiilidioksidi, metaani, dityppimonoksidi ja jotkin halogenoidut hiilivedyt.
Katalysaattori *Catalytic converter* [autoissa]	1. Laite, joka muuttaa pakokaasujen haitallisia aineita vähemmän haitallisiksi metallipinnoilla katalysoiduissa reaktioissa. Autojen katalysaattoreissa hiilivedyt ja häkä hapettuvat hiilidioksidiksi (ja vedeksi), typen oksidit pelkistyvät typeksi ja hapeksi. Katalyyttinä on usein platinaa ja rodiumia. 2. Katalyytin synonyymi.
Katalyytti *Catalyst*	Aine, joka nopeuttaa reaktiota kulumatta itse siinä. Katalyytti pienentää reaktion aktivoitumisenergiaa.
Kationi *Cation*	Positiivinen ioni.
Katodi *Cathode*	Elektrodi, jolla tapahtuu pelkistyminen.
Kekulén rakenne *Kekulé structure*	Molekyylin esitystapa, jossa elektronipari kuvataan viivalla.
Kennoreaktio	Ks. puolireaktio.
Keraami (sis. erikoiskeraamit) *Ceramic*	Kiteisiä tai amorfisia epäorgaanisia yhdisteitä, esimerkiksi oksideja tai karbideja. Kestävät usein hyvin kuumuutta. Perinteisiin keraameihin kuuluvat esimerkiksi savi, posliini, sementti ja lasi. Erikoiskeraamit valmistetaan puhtaista epämetallioksideista ja niitä käytetään esimerkiksi lääketieteessä ja tietotekniikassa.
Kertamuovi *Thermoset*	Kertamuovin polymeeri muovataan kuumentamalla tai säteilyttämällä lopulliseen muotoonsa, minkä jälkeen sitä ei voi enää muovailla.
Kertatyydyttymätön rasvahappo *Monounsaturated fatty acid*	Pitkäketjuinen karboksyylihappo, jota esiintyy rasvoissa ja jonka hiiliatomien muodostamassa ketjussa on yksi kaksoissidos.
Kestomuovi *Thermoplastic*	Polymeeri, jota voi sopivan kuumennuksen avulla muovata ja joka jäähtyessään palautuu takaisin kiinteään tilaan.
Ketjuisomeria *Chain isomerism, skeletal isomerism*	Rakenneisomerian laji, jossa eri isomeereillä on erilainen hiiliketjun rakenne.
Ketjureaktio *Chain reaction*	Peräkkäisten reaktioiden sarja, jossa välituotteina muodostuvat herkästi reagoivat aineet, kuten radikaalit, reagoivat lähtöaineiden ja tuotteiden kanssa muodostaen uusia herkästi reagoivia aineita.
Ketoni *Ketone*	Orgaaninen yhdiste, jonka toiminnallinen ryhmä on hiiliatomien muodostaman ketjun keskellä oleva karbonyyliryhmä. Muodostuu sekundäärisen alkoholin hapettumisessa.
Kidevesi *Water of hydration, water of crystallization*	Kiinteän aineen kidehilaan sitoutunut vesi, esimerkiksi kuparisulfaatissa $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$.
Kiraliakeskus *Asymmetric centre, chirality centre*	Ks. asymmetrinen hiiliatomi.

Kolloidi *Colloid*	Sekakoosteinen seos, jossa hiukkasten halkaisija on 1–1000 nm. Valo siroaa kolloidissa, mutta ei homogeenisessa seoksessa.
Kompleksiyhdiste *Coordination entity*	Kokonaisuus, jossa keskusatomiin (usein metalli) on sitoutunut atomiryhmiä (ligandeja).
Komposiitti *Composite*	Yhdistelmämateriaaleja, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta materiaalista. Komposiittimateriaaleja ovat esimerkiksi puu, betoni ja hiilikuitu.
Kondensoituminen (kondensaatioreaktio) *Condensation reaction*	Reaktio, jossa kaksi funktionaalista ryhmää yhdistyvät, ja samalla lohkeaa jokin pienimolekyylinen yhdiste, kuten vesi.
Konformaatioisomeria *Conformational isomerism*	Avaruusisomerian laji, jossa eri isomeerit muodostuvat yksinkertaisten sidosten pyöriessä sidosakselin ympäri.
Konjugoitunut kaksoissidos *Conjugated double bond*	Molekyylissä, jossa on vuorotellen yksinkertaisia hiiliatomien välisiä sidoksia ja kaksoissidoksia, tapahtuu p-orbitaalien osittainen yhteensulautuminen yksinkertaisen sidoksen yli yhtenäiseksi π-sidokseksi.
Konsentraatio *Concentration*	Liuenneen aineen pitoisuus mooleina kuutiodesimetrissä (mol/dm^3). Ks. pitoisuus.
Koordinaatiosidos *Coordination bond*	Kovalenttinen sidos, jonka sidoselektronipari on peräisin sidoksen toiselta atomilta.
Korroosio *Corrosion*	Metallin hapettuminen ympäristön vaikutuksesta. Korroosiota voi esiintyä myös muilla materiaaleilla, kun niissä tapahtuu palautumattomia muutoksia ympäristön vaikutuksesta.
Korvautumisreaktio *Substitution reaction*	Orgaaninen reaktio, jossa jokin molekyylin osa, kuten vetyatomi, korvautuu toisella atomilla tai atomiryhmällä.
Kovalenttinen sidos *Covalent bond*	Sidos, jossa sidoselektronit jaetaan sidoksen muodostavien atomien kesken.
Krakkaus *Cracking*	Reaktio, jossa hiilivetyketjuja pilkotaan pienemmiksi eli isommista molekyyleistä tehdään pienempiä molekyylejä. Yksi öljynjalostuksen vaihe.
Kuivalaskeuma *Dry deposition*	Typen ja rikin oksideja sisältävä laskeuma, joka laskeutuu maahan kaasumaisena tai pölyn mukana.
Kylläinen liuos *Saturated solution*	Liuos, joka sisältää liuennutta ainetta suurimman mahdollisen määrän.
Käyminen *Fermentation*	Reaktio, jolla solut vapauttavat varastomolekyyleistään energiaa silloin, kun happea ei ole saatavilla riittävästi. Käymisen seurauksena syntyy maitohappoa tai etanolia. Ks. alkoholikäyminen.
Laimea liuos *Dilute solution*	Liuos, jossa liuenneen aineen määrä liuottimeen nähden on pieni.
Lantanoidit *Lanthanoid series*	Jaksollisen järjestelmän alkuaineet (järjestysluku 57–71) lantaanista eteenpäin, joilla 4f-orbitaali täyttyy.
Lasi *Glass*	Amorfinen silikaattimateriaali, joka voidaan muuntaa kovasta ja hauraasta tilasta juoksevaan tai kumimaiseen tilaan.
Le Châtelierin periaate *Le Châtelier's principle*	Tasapainossa oleva systeemi pyrkii kumoamaan muutoksen, jolla systeemiä häiritään.
Lejeerinki *Alloy (of metals)*	Kahden tai useamman metallin muodostama homogeeninen seos.

Lewisin rakenne *Lewis structure*	Atomin, molekyylin tai ionin esitystapa, jossa vapaat elektroniparit ja sidoselektronit kuvataan pistemäisinä.
Ligandi *Ligand*	Keskusatomiin (yleensä metalli-ioni) sitoutunut ioni tai molekyyli.
Liittymisreaktio *Addition reaction*	Tyydyttymättömille yhdisteille tyypillinen reaktio, jossa kaksois- tai kolmoissidos aukeaa ja yhdisteeseen liittyy kaksi (kaksoissidos) tai neljä (kolmoissidos) uutta atomia tai atomiryhmää.
Lipidi *Lipid*	Yhteisnimitys erilaisille heikosti veteen liukeneville, rasvamaisille biomolekyyleille (”rasva-aineet”). Lipidejä ovat esimerkiksi rasvahappojen ja glyserolin muodostamat tri-, di- ja monoglyseridit, steroidit ja fosfolipidit.
Liukeneminen *Dissolution*	Tapahtuma, jossa liuotettava aine ja liuotin sekoittuvat toisiinsa täydellisesti ja muodostavat homogeenisen seoksen.
Liukoisuus *Solubility*	Liuenneen aineen määrä kylläisessä liuoksessa.
Liukoisuustulo *Solubility product*	Niukkaliukoisen suolan liukenemisen tasapainovakio kylläisessä liuoksessa. Vrt. ionitulo.
Liuos *Solution*	Homogeeninen eli tasakoosteinen seos, jossa yhtä tai useampaa liuennutta ainetta on liuotettu liuottimeen.
Liuotin, liuote *Solvent*	Aine, johon liuotettava aine liuotetaan. Liuotinta on yleensä liuoksessa eniten.
Lähdejännite *Electromotive force (e.m.f.)*	Elektrodien välinen potentiaaliero tilanteessa, jossa virtapiirissä ei ole kuormittavia osia.
Malmi *Ore*	Kiviaines, jossa on riittävästi haluttua metallia tai sen yhdistettä, jotta sen louhiminen on taloudellisesti kannattavaa.
Markovnikovin sääntö *Markovnikov's rule*	Additioreaktiossa vetyatomi liittyy siihen kaksoissidoksen hiiliatomiin, jossa on ennestään enemmän vetyatomeja.
Massaluku (*A*) *Mass number*	Atomin ytimen protonien ja neutronien yhteenlaskettu lukumäärä.
Massan säilymisen laki *Law of mass conservation*	Ks. aineen häviämättömyyden laki.
Massavaikutuksen laki *Law of mass action*	Lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden tasapainokonsentraatioiden välinen riippuvuus.
Metalli *Metal*	Metallit ovat alkuaineita tai seoksia, joiden kemiallista rakennetta voidaan kuvata metallikationien ja yhteisten elektronien muodostamana metallihilana. Metalleille tyypillisiä ominaisuuksia ovat sähkönjohtavuus, lämmönjohtavuus, metallinkiilto ja suuri tiheys. Monet metallit luovuttavat helposti elektroneja.
Metallien jaloussarja eli sähkökemiallinen jännitesarja *Electromotive series*	Metallien sähkökemiallisessa sarjassa metallit on järjestetty hapettumiskykynsä mukaiseen järjestykseen.
Metallisidos *Metallic bonding*	Sidos, joka kuvaa metalliatomien sitoutumisen toisiinsa siten, että metallit luovuttavat ainakin yhden ulkoelektronin metallihilan kaikkien metallien käyttöön.
Mineraali *Mineral*	Mineraalit ovat alkuaineita tai epäorgaanisia yhdisteitä, joista mm. kivilajit koostuvat. Mineraaleja ovat esimerkiksi epäorgaaniset suolat ja silikaatit.
Minimienergiaperiaate *Principle of minimum energy*	1. Elektroni asettuu aina alimpaan mahdolliseen energiatilaan. 2. Fysiikassa termodynamiikan toisen pääsäännön yksi esitystapa.

Molaalisuus b *Molality*	Ilmoittaa liuenneen aineen ainemäärän (n) yhtä liuotinkilogrammaa kohden: $b = \frac{n}{m}$.
Molaarisuus *Molarity*	Termi, jota joskus käytetään konsentraation yksikkönä. Lyhenne M (1 M = 1 mol/l).
Molekyyli *Molecule*	Aineen rakenneosa, jossa atomit liittyvät toisiinsa kovalenttisilla sidoksilla.
Molekyylikaava *Molecular formula*	Molekyylikaava ilmaisee molekyylissä olevien atomien lukumäärän, esim. glukoosi $C_6H_{12}O_6$.
Molekyyliorbitaali *Molecular orbital*	Kun kovalenttinen sidos syntyy, atomiorbitaalit sulautuvat yhteen ja muodostavat molekyyliorbitaalin.
Molekyyliyhdiste *Molecular compound*	Yhdiste, joka koostuu vähintään kahden alkuaineen muodostamista molekyyleistä.
Moniarvoinen alkoholi *Polyvalent alcohol*	Alkoholi, jonka molekyylissä on useampi kuin yksi hydroksyyliryhmä –OH.
Moniarvoinen protolyytti *Polyprotic acid/base*	Happo tai emäs, joka voi luovuttaa tai vastaanottaa useamman kuin yhden protonin.
Moniatominen ioni *Polyatomic ion*	Ioni, jossa kaksi tai useampi atomi on liittyneenä toisiinsa kovalenttisin sidoksin, esimerkiksi karbonaatti-ioni CO_3^{2-}.
Monityydyttymätön rasvahappo *Polyunsaturated fatty acid*	Pitkäketjuinen karboksyylihappo, jota esiintyy rasvoissa ja jonka hiiliatomien muodostamassa ketjussa on useampi kuin yksi hiiliatomien välinen kaksoissidos.
Monomeeri *Monomer*	Pieni molekyyli, joka voi sitoutua joko polyadditio- tai polykondensaatioreaktiolla toisiin monomeereihin muodostaen polymeerin.
Monosakkaridi *Monosaccharide*	Hiilihydraattien perusrakenneosa. Sisältää useita hydroksyyliryhmiä ja avoketjuisessa muodossa aldehydi- tai ketoniryhmän. Monosakkarideja ovat esimerkiksi glukoosi, fruktoosi, riboosi ja galaktoosi.
Moolitilavuus V_m *Molar volume*	Yhden kaasumoolin tilavuus (dm^3/mol). Moolitilavuuden lukuarvo riippuu olosuhteista. NTP-oloissa $V_m \approx 22{,}41$ dm^3/mol.
Muodostumisentalpia, muodostumislämpö *Standard enthalpy of formation*	Entalpianmuutos, kun yksi mooli tutkittavaa yhdistettä syntyy perustilaisista alkuaineista määritellyissä vertailuolosuhteissa.
Muovi *Plastic*	Materiaali, joka koostuu polymeereistä ja niihin lisätyistä aineista, joilla muovin ominaisuuksia säädetään. Tällaisia ovat esimerkiksi pehmittimet, väriaineet ja UV-suoja-aineet.
Märkä laskeuma *Wet deposition*	Typen ja rikin oksidien muodostamia happoja sisältävä sadevesi tai lumi. Kutsutaan myös nimellä hapan sade tai happosade.
Napajännite *Electrode potential*	Elektrodien välinen potentiaaliero.
Neutraloituminen *Neutralization*	Reaktio, jossa happo ja emäs reagoivat tuottaen suolaa ja yleensä myös vettä. Neutralointi viittaa usein tapahtumaan, jossa liuokseen lisätään happoa vastaava määrä emästä (tai kääntäen) siitä riippumatta, onko liuos tämän jälkeen neutraali vai ei. Neutraloituminen voidaan määritellä myös vesiliuoksessa tapahtuvana neutraloitumisreaktiona, jossa oksoniumionit ja hydroksidi-ionit muodostavat vesimolekyylejä.
Normaalipotentiaali *Standard oxidation potential*	Potentiaaliero, joka määritetään käyttämällä toisena elektrodina normaalivetyelektrodia ja toisena tutkittavaa elektrodia.

Normaalitila (NTP) *Standard conditions of temperature and pressure (STP)*	Normaalilämpötila ja –paine (p = 101,325 kPa, T = 273,15 K).
Nukleiinihappo *Nucleic acid*	Nukleotideista koostuva biopolymeeri (DNA tai RNA).
Nukleotidi *Nucleotide*	Nukleiinihappojen rakenneyksikkö, jossa fosfaattiosan ja riboosi- tai deoksiriboosisokerin muodostamaan runkoon kiinnittyy emäs. DNA:ssa emäkset ovat adeniini, tymiini, sytosiini ja guaniini, RNA:ssa tymiinin tilalla on urasiili.
Oksoniumioni *Oxonium ion*	H_3O^+-ioni. Muodostuu mm. happojen reagoidessa veden kanssa. Oksoniumionikonsentraation avulla voidaan määrittää vesiliuoksen happamuus.
Oktettisääntö *Octet rule*	Oktetti on pysyvä rakenne, jossa atomeilla on kahdeksan elektronia uloimmalla elektronikuorella. Oktettisäännön mukaan pääryhmien alkuaineiden atomien sitoutuessa toisiinsa ne saavat tai menettävät elektroneja tai jakavat yhteisiä elektronipareja siten, että uloimmalle energiatasolle muodostuu oktettirakenne.
Omega-3-rasvahappo *Omega-3 fatty acid,* *ω-3 fatty acid*	Monityydyttymätön rasvahappo, jonka hiiliketjun ensimmäinen kaksoissidos on kolmannessa hiili-hiilisidoksessa metyylipäästä lukien.
Optinen aktiivisuus *Optical activity*	Yhdisteen kyky kiertää tasopolaroidun valon tasoa.
Orbitaali *Orbital*	Matemaattinen funktio, joka kuvaa elektronin aaltoliikkeen alueen. Alue, jolta elektroni todennäköisimmin löytyy.
Orgaaninen yhdiste *Organic compound*	Yhdiste, jonka rakenneosat sisältävät hiiliatomeja. Orgaanisiin yhdisteisiin eivät kuulu hiilen yhdisteistä hiilen oksidit (kuten CO ja CO_2), hiilihappo ja hiilihapon suolat.
Osareaktio *Half-reaction*	Ks. puolireaktio.
Osittaisvaraus *Partial charge*	Kovalenttisen sidoksen atomeihin muodostuva positiivinen ja negatiivinen varaus, mikä johtuu sidoksen elektroniparien epätasaisesta jakaantumisesta atomien välille. Varauksen suuruus on pienempi kuin alkeisvaraus.
Osmoosi *Osmosis*	Ilmiö, jossa vettä tai muuta pienimolekyylistä liuotinta siirtyy puoliläpäisevän kalvon läpi laimeammasta liuoksesta väkevämpään. Tällöin pitoisuuserot tasoittuvat.
Otsoni *Ozone*	Hapen allotrooppinen muoto O_3, jota syntyy luonnostaan stratosfäärissä auringon säteilyn vaikutuksesta. Otsoni absorboi UV-säteilyä ja suojaa siis eliöitä sen ionisoivalta vaikutukselta.
Otsonikato *Ozone depletion*	Otsonikerroksen oheneminen, joka johtuu otsonin tuhoutumisesta pääasiassa CFC-yhdisteistä irronneiden halogeeniradikaalien katalysoimissa reaktioissa.
PAH *Polycyclic aromatic hydrocarbon*	Hiilivety, jonka rakenteessa on useita toisiinsa liittyneitä bentseenirenkaita.
Paikkaisomeria *Position isomerism*	Rakenneisomerian laji, jossa eri isomeereillä toiminnallinen ryhmä on liittynyt eri kohtaan hiiliatomien ketjussa.
Paristo eli sähköinen pari *Battery*	Kemiallista energiaa sähkövirraksi muuntava laite, jonka toiminta perustuu hapettumis-pelkistymisreaktioihin.
Passiivinen elektrodi *Passive electrode*	Elektrodi, joka ei osallistu hapettumis-pelkistymisreaktioihin.
Patina *Patina*	Metallin pinnalle muodostuva suojaava oksidikerros, esimerkiksi oksidi-, karbonaatti- tai sulfidikerros.

Paulin kieltosääntö *Pauli exclusion principle*	Tietyssä atomissa kahdella eri elektronilla ei voi olla täysin samaa kvanttilukujen yhdistelmää. Atomissa ei ole energiatilaltaan kahta täysin samanlaista elektronia.
Peilikuvaisomeria *Mirror image isomerism*	Avaruusisomerian laji, jossa kaksi isomeeria ovat toistensa peilikuvia. Peilikuvaisomeria voi syntyä, jos molekyylissä on asymmetrinen hiilitomi.
Pelkistin *Reductant, reducer, reducing agent*	Aine, joka hapettuessaan pelkistää toisen aineen.
Pelkistyminen *Reduction*	Pelkistyminen on reaktio, jossa aine vastaanottaa elektroneja kokonaan tai osittain. Orgaanisissa yhdisteissä pelkistyminen näkyy happiatomien vähentymisenä ja vetyatomien lisääntymisenä.
Peptidisidos *Peptide bond*	Aminohappojen välinen amidisidos.
pH-arvo *pH value*	Kuvaa liuoksen happamuutta. $pH = -lg[H_3O^+]$
pH-indikaattori *pH indicator*	Aine, joka kertoo värinmuutoksellaan liuoksen happamuuden muutoksesta.
Piisidos (π-sidos) *Pi bond (π bond)*	Muodostuu sigmasidoksen ympärille, kun p-orbitaalit sulautuvat yhteen sivuttain.
Pitoisuus *Content*	Liuenneen aineen määrä liuoksessa ilmaistuna jollain yksiköllä (esim. mol/dm^3, g/ml, ppm, til-%). Vrt. konsentraatio.
pK_a	$pK_a = -lgK_a$ pK_a vastaa pH:ta, jossa happoa ja sitä vastaavaa emästä on yhtä paljon.
pK_b	$pK_b = -lgK_b$
pOH-arvo *pOH value*	Kuvaa liuoksen emäksisyyttä. $pOH = -lg[OH^-]$
Polttokenno *Fuel cell*	Polttokenno on sähkökemiallinen laite, joka muuntaa polttoaineen kemiallista energiaa sähköenergiaksi hapen tai muun hapettimen kanssa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden avulla.
Polyadditio *Polyaddition*	Polymeroitumisreaktio, jossa monomeerien kaksoissidokset aukeavat ja monomeerit liittyvät yhteen.
Polykondensaatio *Polycondensation*	Polymeroitumisreaktio, jossa monomeerien liittyessä yhteen lohkeaa pienimolekyylinen yhdiste, esimerkiksi vesi. Polykondensaatiossa monomeereillä täytyy olla kaksi funktionaalista ryhmää.
Polymeeri *Polymer*	Suuri ketjumainen, haaroittunut tai verkkomainen molekyyli, joka koostuu useista toistuvista, toisiinsa liittyneistä rakenneosista eli monomeereistä. Polymeerit muodostuvat pienempien molekyylien (monomeerien) liittyessä yhteen polyadditio- tai polykondensaatioreaktioissa. Ks. myös biopolymeerit.
Polymeroituminen *Polymerization*	Kemiallinen reaktio, jossa monomeerit liittyvät toisiinsa ketjumaisiksi tai verkkomaisiksi suuriksi molekyyleiksi. Polymeroituminen voi tapahtua polyadditio- tai polykondensaatioreaktiolla.
Polypeptidi *Polypeptide*	Suurimolekyylinen orgaaninen yhdiste, joka muodostuu aminohappomolekyylien liittyessä yhteen peptidisidoksilla. Kaikki proteiinit ovat polypeptidejä, mutta lyhyet polypeptidit eivät ole proteiineja, koska niiltä puuttuu proteiineille tunnusomainen täsmällinen kolmiulotteinen muoto.
Polyproottinen happo *Polyprotic acid*	Ks. moniarvoinen protolyytti.

Polysakkaridi *Polysaccharide*	Useista monosakkarideista muodostuva haaroittuva tai haaroittumaton ketju. Polysakkarideja ovat esimerkiksi tärkkelys ja selluloosa.
Poolinen aine *Polar substance*	Molekyylirakenteinen yhdiste, jossa on poolisia kovalenttisia sidoksia ja jonka pooliset sidokset eivät kumoa toistensa vaikutusta symmetrian takia.
Poolinen sidos *Polar bond*	Kovalenttinen sidos, jossa sidoselektronit eivät ole tasaisesti jakautuneet atomien välille.
ppm *ppm (parts per million)*	Miljoonasosa, esim. mg/kg, µl/l. Vastaavan tyyppinen yksikkö kuin prosentti (sadasosa) tai promille (tuhannesosa).
Primäärinen alkoholi *Primary alcohol*	Alkoholi, jonka molekyyleissä hydroksyyliryhmä on liittynyt sellaiseen hiiliatomiin, jossa on hydroksyyliryhmän lisäksi kaksi vetyatomia ja hiiliatomi.
Primäärinen amiini *Primary amine*	Amiini, jonka typpiatomiin on vetyatomien lisäksi liittynyt yksi hiiliatomi ($R–NH_2$).
Proteiini *Protein*	Valkuaisaine. Erittäin pitkäketjuinen molekyyli, joka muodostuu peptidisidoksella toisiinsa liittyneistä aminohapoista. Proteiineilla on täsmällinen kolmiulotteinen rakenne toisin kuin lyhyillä polypeptideillä. Proteiinit toimivat soluissa esimerkiksi rakennusaineina ja entsyymeinä.
Proteiinin kvaternäärirakenne (kvaternaarirakenne) *Protein quaternary structure*	Rakenne, jossa useat laskostuneet polypeptidiketjut tarttuvat toisiinsa muodostaen toimivan proteiinin.
Proteiinin primäärirakenne (primaarirakenne) *Protein primary structure*	Proteiinin sisältämien aminohappomolekyylien ketjun sitoutumisjärjestys.
Proteiinin sekundäärirakenne (sekundaarirakenne) *Protein secondary structure*	Proteiinin aminohappoketjun rakenne, jossa vetysidokset muodostavat proteiiniin spiraalin muotoisia kierteitä (α-kierre) tai lakanamaisia laskosrakenteita (β-laskos).
Proteiinin tertiäärirakenne (tertiaarirakenne) *Protein tertiary structure*	Rakenne, jossa sekundäärirakenteeseen asettunut polypeptidiketju kiertyy tai laskostuu edelleen epäsäännölliseen kolmiulotteiseen muotoon. Tertiäärirakennetta pitävät koossa heikot sidokset (mm. vetysidokset, ionisidokset tai dispersiovoimat) ja rikkisillat (R–S–S–R; kovalenttinen sidos rikkiatomien välillä).
Protolyytti *Protolyte*	Yleisnimitys hapolle tai emäkselle, joka osallistuu protoninsiirtoreaktioihin.
Protoninsiirtoreaktio (protolyysi) *Acid-base reaction, proton transfer reaction*	Hapon ja emäksen välinen reaktio.
Puhdas aine *Pure substance*	Aine, joka koostuu vain yhdenlaisista rakenneosista. Puhdas aine voi olla alkuaine (esim. Au, O_2) tai yhdiste (CH_3OH).
Puolimetalli *Semimetal,* [myös] *metalloid*	Alkuaineet, joilla on sekä metallin että epämetallin ominaisuuksia (etenkin B, Si, Ge, Sb ja Te).
Puolireaktio *Half-reaction*	Hapettumis-pelkistymisreaktion hapettumis- tai pelkistymisreaktio yksinään. Kutsutaan myös nimellä osareaktio.
Puskurialue *Buffer region*	Puskuriliuoksen pH-alue, jolla puskuriliuos vastustaa pH:n muutoksia. Heikosta haposta HA ja sitä vastaavasta heikosta emäksestä A^- muodostunut puskurialue määritellään usein pH-alueena $pH = pK_{HA} \pm 1$, minkä ulkopuolella pH muuttuu jyrkästi. Ks. pK_a.
Puskuriliuos *Buffer solution*	Heikon protolyytin (happo tai emäs) ja sen suolan muodostama liuos, jonka pH ei juuri muutu pienistä happo- tai emäslisäyksistä.

Pääryhmä *Main group*	Jaksollisen järjestelmän ryhmät 1, 2 ja 13–18.
Radikaali *Radical*	Atomi, ioni tai molekyyli, jolla on pariton ulkoelektroni ja joka siksi reagoi erittäin herkästi. Paritonta elektronia merkitään pisteellä, esimerkiksi $HO\cdot$ tai $\cdot CH_3$.
Radikaalimekanismi *Radical mechanism*	Reaktiomekanismi, jossa sidos katkeaa siten, että sidoselektronit jakautuvat tasaisesti hajoamistuotteiden kesken. Tyypillinen poolittomilla tai heikosti poolisilla sidoksilla.
Rajoittava reagenssi, rajoittava tekijä *Limiting reagent/reactant*	Lähtöaineista se, joka reaktiossa loppuu ensin ja siten rajoittaa syntyvän lopputuotteen määrää.
Rakenne- eli konstituutio-isomeria *Structural isomerism, constitutional isomerism*	Isomerian laji, jossa eri isomeerien molekyyliin liittyneiden atomien sitoutumisjärjestys on erilainen.
Rakennekaava *Structural formula*	Ilmaisee atomien lukumäärät molekyylissä ja sen, miten atomit ovat sitoutuneet toisiinsa. Rakennekaavan eri muotoja ovat muun muassa viiva- eli tikkukaava ja kolmiulotteinen rakennekaava.
Rasemaatti, raseeminen seos *Racemate*	Seos, joka sisältää kumpaakin peilikuvaisomeeriä yhtä paljon.
Raskasmetalli *Heavy metal*	Metalli, jonka tiheys on suurempi kuin 5 g/cm^3. Ympäristön kannalta ongelmallisimpia raskasmetalleja ovat elohopea, lyijy ja kadmium.
Rasva (triglyseridi) *Fat* [huoneen lämpötilassa kiinteä triglyseridi], *oil* [huoneen lämpötilassa nestemäinen triglyseridi]	Glyserolin ja kolmen rasvahapon muodostama triesteri eli triglyseridi.
Rasvahappo *Fatty acid*	Yleensä pitkäketjuinen karboksyylihappo. Useimmat luonnon rasvahapot ovat avoketjuisia ja haarautumattomia, ja niissä on parillinen määrä hiiliatomeja. Rasvahapot muodostavat glyserolin kanssa estereitä, tri- di- ja monoglyseridejä.
Ravinne *Nutrient*	Alkuaine tai yhdiste, jota tuottajat (kasvit ja levät) ottavat ympäristöstään ja jota ne tarvitsevat kasvuunsa melko pieniä määriä. Kasveille tärkeitä ravinteita ovat esimerkiksi monet typen, fosforin ja kaliumin yhdisteet.
Reaktioentalpia (reaktiolämpö) *Heat of reaction*	Reaktiossa vapautuva tai sitoutuva lämpö. Ks. entalpia.
Reaktiomekanismi *Reaction mechanism*	Kuvaa yksityiskohtaisesti, miten reaktio tapahtuu. Mekanismista selviävät reaktion eri vaiheet, funktionaalisissa ryhmissä tapahtuvat elektronien siirtymiset, sidosten katkeamiset ja muodostumiset sekä väli- ja lopputuotteet. Reaktiomekanismit voidaan jakaa radikaali- ja ionimekanismeihin.
Reaktionopeus *Reaction rate*	Kemiallisen reaktion nopeus, jossa määritetään aineen konsentraation muutos ajan funktiona.
Redox-reaktio *Redox reaction*	Ks. hapettumis-pelkistymisreaktio.
Rehevöityminen *Eutrophication*	Kasvien ja levien liiallinen kasvu ja lisääntyminen vesistöissä. Rehevöityminen johtuu kasveille tärkeiden ravinteiden kuten typpi- ja fosforiyhdisteiden lisääntymisestä vesistössä.
Reseptori *Receptor*	Solun vastaanottajamolekyyli, joka tunnistaa viestimolekyylin esimerkiksi muodon ja kemiallisten vuorovaikutusten perusteella. Reseptori voi sijaita esimerkiksi solukalvolla.

Rikastuminen *Enrichment*	Ympäristökemiassa ympäristömyrkkypitoisuuden lisääntyminen ravintoketjun huippua kohti. Eliö käyttää ravintonsa sisältämät ravintoaineet elintoimintoihinsa, mutta ympäristömyrkyt eivät hajoa vaan kertyvät kudoksiin ja siirtyvät eteenpäin ravintoketjussa.
Rikkisilta *Disulfide bridge*	Disulfidisidos (R–S–S–R), joka on yleensä muodostunut kahdesta tiolista (R–SH).
RNA *RNA*	Ribonukleiinihappo. Muistuttaa rakenteeltaan DNA:ta, mutta sokerina on riboosi ja tymiinin tilalla on urasiili. RNA on usein yksijuosteinen.
Runkoisomeria *Chain isomerism, skeletal isomerism*	Ks. ketjuisomeria.
Ryhmä (jaksollisessa järjestelmässä) *Group*	Jaksollisen järjestelmän pystyrivi.
Saanto *Yield*	Kemiallisessa reaktiossa syntyneen tuotteen määrä.
Saippua *Soap*	Rasvahapon natriumsuola, joka syntyy triglyseridin (rasvan) ja natriumhydroksidin hydrolyysireaktiossa.
Saostuminen *Precipitation*	Sakan muodostuminen liuokseen.
Sekakoosteinen seos *Heterogeneous mixture*	Ks. heterogeeninen seos.
Sekundäärinen alkoholi *Secondary alcohol*	Alkoholi, jonka molekyyleissä hydroksyyliryhmä on liittynyt sellaiseen hiiliatomiin, jossa on hydroksyyliryhmän lisäksi yksi vetyatomi ja kaksi hiiliatomia.
Sekundäärinen amiini *Secondary amine*	Amiini, jonka toiminnallisen aminoryhmän typpiatomiin on liittynyt kaksi hiiliatomia (R_2NH).
Selluloosa *Cellulose*	Glukoosiyksiköistä muodostuva polysakkaridi. Selluloosamolekyylissä glukoosiyksiköt muodostavat pitkän ja suoran ketjun.
Sementti *Cement*	Jauhemainen sideaine, joka veden kanssa reagoituaan kovettuu lujaksi tuotteeksi. Sementin pääraaka-aine on kalkki ($CaCO_3$), mutta lisäksi valmistuksessa tarvitaan mm. piidioksidia (SiO_2), rauta(III)oksidia (Fe_2O_3) ja alumiini(III)oksidia (Al_2O_3).
Sidosenergia *Bond energy*	Kemiallisen sidoksen katkaisuun tarvittava energia.
Sigmasidos (σ-sidos) *Sigma bond (σ bond)*	Muodostuu kahden hybridiorbitaalin tai hybridiorbitaalin ja vetyatomin 1s-orbitaalin sulautuessa yhteen lineaarisesti atomiytimien välissä. Sigmasidokset sitovat molekyylin atomit toisiinsa, ja sidokset voivat kiertyä akselinsa ympäri.
Siirtymäalkuaineet *Transition elements*	Alkuaineet, joiden atomin tai ionin d-orbitaali on vajaasti miehitetty.
Siirtymämetallit *Transition metals*	Ks. siirtymäalkuaineet.
Siirtymätila *Transition state*	Kemiallisen reaktion lähtöaineista muodostuva lyhytaikainen tila, jossa vanhat sidokset ovat katkeamassa ja uudet muodostumassa. Siirtymätila voi johtaa reaktiotuotteisiin tai takaisin lähtöaineisiin.
Sivuryhmät *D-block elements*	Jaksollisen järjestelmän ryhmät 3–12.

Sokeri *Sugar*	Yleisinimi erilaisille makeille hiilihydraateille eli monosakkarideille ja disakkarideille. Arkikielessä sokerilla tarkoitetaan yleensä sakkaroosia, joka on glukoosin ja fruktoosin muodostama disakkaridi.
Soluhengitys *Cell respiration*	Solujen aineenvaihduntareaktio, jossa vapautetaan energiaa varastomolekyyleistä kuten glukoosista. Syntynyt energia käytetään ATP:n valmistukseen. Soluhengitys tapahtuu mitokondrioissa. $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 36\ ATP$
Spontaani reaktio *Spontaneous reaction*	Reaktio, joka käynnistyttyään etenee ilman ulkopuolelta tulevaa energiaa.
Stereoisomeria	Ks. avaruusisomeria.
Steroidi *Steroid*	Lipideihin kuuluva yhdiste, jonka perusrunko koostuu kolmesta kuuden hiiliatomin ja yhdestä viiden hiiliatomin muodostamasta renkaasta. Esimerkiksi kolesteroli ja hormoneista testosteroni ja keskeiset estrogeenit kuuluvat steroideihin.
Sublimoituminen *Sublimation*	Kiinteän aineen muuttuminen kaasuksi ilman nestemäistä välitilaa.
Substituutioreaktio	Ks. korvautumisreaktio.
Suhdekaava (empiirinen kaava) *Empirical formula*	Ilmoittaa yhdisteessä olevien alkuaineiden lukumääräsuhteen.
Suhteellinen atomimassa *Relative atomic mass*	Atomin massa laskettuna suhteessa hiili-12-isotoopin massaan (12,00). Suhteellisella atomimassalla ei ole varsinaista yksikköä, sillä ne kuvaavat vain atomien massojen suhdetta toisiinsa.
Suola *Salt*	Ioniyhdiste, joka muodostuu positiivisesti ja negatiivisesti varatuista ioneista.
Suolasilta *Salt bridge*	Elektrolyyttiliuoksella ja hyytelömäisellä aineella täytetty esimerkiksi u-putki, puoliläpäisevä kalvo tai huokoinen välisenä, jota käytetään galvaanisissa ja elektrolyysikennoissa yhdistämään virtapiiri. Suolasilta mahdollistaa varausten siirtymisen elektrolyyttiliuosten välillä mutta estää elektrolyyttiliuosten sekoittumisen.
Suoraketjuinen yhdiste *Straight-chain compound*	Orgaaninen yhdiste, jonka molekyylirakenteessa ei ole rengasrakenteita, eikä hiiliatomien ketju ole haarautunut.
Suprajohde *Superconductor*	Aine, jonka kyky vastustaa sähkövirran kulkua katoaa riittävän alhaisessa lämpötilassa kokonaan. Sähkövirta pääsee siis etenemään lähes häviöttömästi.
Syklinen yhdiste *Cyclic compound*	Orgaaninen yhdiste, jonka rakenteessa on vähintään yksi rengas.
Synteesi *Synthesis*	Yhdisteen tai alkuaineen kemiallinen valmistusmenetelmä. Synteesillä tarkoitetaan yleensä laboratorio- tai tehdasolosuhteissa tapahtuvaa valmistusta.
Sähkökemiallinen pari *Voltaic cell*	Sähkökemiallinen eli galvaaninen pari muuttaa kemiallista energiaa sähkövirraksi. Sähkökemiallinen pari koostuu kahdesta elektrodista ja niitä yhdistävästä elektrolyyttiliuoksesta.
Tasakoosteinen seos *Homogeneous mixture*	Ks. homogeeninen seos.
Tasapainovakio K *Equilibrium constant*	Reaktion $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ tasapainovakion lauseke on $K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$. Tasapainovakion arvo riippuu lämpötilasta.

Tensidi *Surfactant*	Nesteen pintajännitystä alentava aine.
Tertiäärinen alkoholi *Tertiary alcohol*	Alkoholi, jonka molekyyleissä hydroksyyliryhmä on liittynyt sellaiseen hiiliatomiin, jossa on hydroksyyliryhmän lisäksi kolme hiiliatomia (eikä yhtään vetyatomia).
Tertiäärinen amiini *Tertiary amine*	Amiini, jonka toiminnallisen aminoryhmän typpiatomiin on liittynyt kolme hiiliatomia (R_3N).
Tiivistetty rakennekaava *Condensed structure*	Rakenne, josta selviää hiiliatomien välinen sitoutumisjärjestys, mutta vetyatomit merkitään ilman sidosviivaa, ja niiden lukumäärä on alaindeksinä. Vapaita elektronipareja ei piirretä näkyviin. Esim. $CH_3CH_2CO_2H$.
Titrantti *Titrant*	Tunnetun väkevyinen liuos, jota käytetään tuntemattoman liuoksen pitoisuuden määrittämiseen.
Titraus *Titration*	Analyysimenetelmä, jonka avulla tuntemattoman liuoksen pitoisuus voidaan määrittää tunnetun liuoksen eli titrantin avulla, esimerkiksi happo-emästitraus.
Titrauskäyrä *Titration curve*	Kuvaaja, jonka avulla titrauksen ekvivalenttikohta voidaan määrittää, esimerkiksi kun x-akselina on titrantin tilavuus ja y-akselina liuoksen pH.
Toiminnallinen ryhmä *Functional group*	Orgaanisen yhdisteen tunnusomainen ryhmä, joka vaikuttaa merkittävästi yhdisteen ominaisuuksiin ja reaktioihin.
Triglyseridi *Triglyceride*	Ks. rasva. Glyserolin ja kolmen rasvahapon muodostama esteri.
Typensidonta *Nitrogen fixation*	Ilmakehän typen muuttaminen kasveille käyttökelpoiseen muotoon, esimerkiksi ammonium- ja nitraattitypeksi. Typpeä sitovat jotkin maaperän ja vesistöjen bakteerit.
Tyydyttymätön rasvahappo *Unsaturated fatty acid*	Rasvahappo, jonka hiilirungossa on yksi tai useampi hiiliatomien välinen kaksoissidos. Jälkimmäisessä tapauksessa rasvahappoa kutsutaan monityydyttymättömäksi.
Tyydyttymätön yhdiste *Unsaturated compound*	Yhdiste, jonka molekyyleissä on hiiliatomien välillä vähintään yksi kaksois- tai kolmois-sidos.
Tyydyttynyt rasvahappo *Saturated fatty acid*	Rasvahappo, jossa ei ole hiiliatomien välisiä kaksoissidoksia.
Tyydyttynyt yhdiste *Saturated compound*	Yhdiste, jonka molekyylien hiiliatomien välillä on vain yksinkertaisia sidoksia.
Tärkkelys *Starch*	Glukoosiyksiköistä muodostuva haarautunut tai haarautumaton polysakkaridi. Tärkkelys-molekyylissä glukoosiyksiköt muodostavat kierteisen ketjun. Toimii kasvien energiavarasto-molekyylinä.
Uhrianodi *Sacrificial metal*	Uhrianodilla tarkoitetaan epäjalompaa metallia, jolla suojataan jalommasta metallista valmistettua esinettä korroosiolta. Muodostuu kemiallinen pari, jossa epäjalompi metalli hapettuu jalomman metallin sijaan.
Ulkoelektroni *Valence electron*	Atomin uloimmalla kuorella oleva elektroni.
Vahva emäs *Strong base*	Emäs, jonka rakenneosista suurin osa vastaanottaa protonin H^+ vedessä ($K_b > 1$, $pK_b < 0$).
Vahva happo *Strong acid*	Happo, jonka rakenneosista suurin osa luovuttaa protonin H^+ vedessä ($K_a > 1$, $pK_a < 0$).
Vahva sidos *Strong bond*	Vahvoja sidoksia ovat kovalenttinen sidos, ionisidos ja metallisidos.

Valenssielektroni *Valence electron*	Ks. ulkoelektroni.
Valkuaisaine *Protein*	Ks. proteiini.
Valokemiallinen sumu *Photochemical smog*	Pääasiassa liikenteen päästöistä koostuva sumu, jossa typen oksidit ja haihtuvat hiilivedyt reagoivat auringon valon vaikutuksesta. Reaktioissa syntyy terveydelle ja ympäristölle haitallisia aineita, kuten otsonia ja erilaisia hiilivetyjä.
Vapaa elektronipari *Free electron pair*	Atomin elektronipari, joka ei ole sidoksessa.
Vastinemäs *Conjugate base*	Emäs, joka haposta syntyy hapon luovuttaessa protonin H^+.
Vastinhappo *Conjugate acid*	Happo, joka emäksestä syntyy emäksen vastaanottaessa protonin H^+.
Veden autoprotolyysi *Autoprotolysis of water*	Vesimolekyylien välinen protoninsiirtoreaktio: $2\,H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$.
Veden ionitulo K_w *Ion product of water*	Veden autoprotolyysireaktion tasapainovakio: $K_w = [\,H_3O^+] \cdot [\,OH^-]$.
Vetysidos *Hydrogen bond*	Voimakas dipoli-dipolisidos, joka on positiivisesti osittaisvarautuneen vetyatomin ja negatiivisesti osittaisvarautuneen atomin (yleensä F, N tai O) välillä. Luokitellaan heikkoihin sidoksiin.
Viivakaava (tikkukaava) *Line formula*	Rakennekaava, jossa molekyylin rakenne on esitetty sidosviivoin. Viivan päässä tai kulmassa on hiiliatomi. Hiiliatomit ja niihin liittyvät vetyatomit jätetään piirtämättä. Muut atomit ja niihin liittyvät vetyatomit merkitään näkyviin.
Virittyminen *Excitation*	Elektronin siirtyminen tilapäisesti alemmalta energiatilalta ylemmälle energian absorboimisen seurauksena.
VOC-yhdisteet *Volatile organic compounds*	Pienimolekyylisiä, helposti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita syntyy sekä luonnossa että ihmisen toiminnan seurauksena. Osa on terveydelle ja ympäristölle haitallisia. Esimerkiksi liikenteestä peräisin olevat yhdisteet ovat osa valokemiallista sumua, jossa syntyy haitallisia aineita kuten alailmakehän otsonia. Jotkin VOC-aineet, kuten formaldehydi, aiheuttavat terveyshaittoja sisäilmassa.
VSEPR-teoria *Valence shell electron pair repulsion*	Teorian mukaan vapaat elektroniparit ja atomien yhteiset sidoselektroniparit hylkivät toisiaan ja suuntautuvat siksi mahdollisimman kauas toisistaan. Soveltuu erityisesti pienille molekyyleille.
Yhdiste *Compound*	Puhdas aine, jonka kaikki rakenneosat ovat samanlaisia ja ne muodostuvat vähintään kahden eri alkuaineen atomeista.
Ylikylläinen liuos *Supersaturated solution*	Liuos, joka sisältää liuennutta ainetta enemmän kuin kylläinen liuos. Ylikylläinen liuos voi syntyä esimerkiksi silloin, kun kylläisestä liuoksesta haihtuu liuotinta tai ympäröiviä olosuhteita (lämpötila, paine) muutetaan.

Tehtävien vastaukset

10. a) Ga
b) N
c) I
d) $^{11}_{5}B$ ja $^{7}_{3}Li$

20. b) 0,5 g

24. a) 0
b) +V
c) +III
d) –III (NH_4^+) ja +III (NO_2^-)
e) +IV

26. b) 1600 kg

27. c) 0,20 g

28. 60 l

29. a) kyllä
b) 2,2 kg
c) 2,2 kg

30. 49,8 g

31. 8,2 kg

32. b) 19,1 *m*-%

33. b) 0,0199 mol/dm^3
c) 1,19 *m*-%
d) 25,3 mg eli 0,0253 g

34. 44,45 *m*-%

35. 86 g

36. 350 dm^3

41. e) i f) iii

44. a, e, c, d, f, b.

45. c) 0,14 V

47. a) 3,73 V
b) 2,2 A

48. 406 g metallista lyijyä ja 469 g lyijyoksidia

52. b) 44,6 h

53. b) 2,2 h
c) 13 dm^3

54. b) 3 037 As
c) 190 cm^3

60. a) –393 kJ
b) –125 kJ

61. a) $1{,}7 \cdot 10^{-2}$ g/dm^3

62. 18 µg/l

63. 2,1 g

64. a) 0,37 g
b) 56 °C
c) 0,020 mol/l
d) $1{,}02 \cdot 10^{-5}$ mol^3/l^3

65. a) 23 °C
b) 6,3 mol/l

67. b) $-8{,}7 \cdot 10^{-7}$ mol/(l · s)
c) n. $-3{,}6 \cdot 10^{-7}$ mol/(l · s)
d) 17,5 min

68. b) $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ mol/l

69. a) 7,3 g/l
c) 480 mg

71. b) 12,5 %
c) 33,3 %

72. a) 2,3 %
b) 0,003 %

73. a) 236 kJ
b) (1) –16,7 MJ/kg ja
(2) –17,5 MJ/kg

74. a) 50
c) H_2: 0,113 mol/dm^3,
I_2: 0,093 mol/dm^3 ja
HI: 0,724 mol/dm^3

75. b) $5{,}6 \cdot 10^{-10}$ mol/dm^3

76. a) 2
b) 3,4
c) 12
d) 10,6

78. d) 0,102 mol/dm^3

79. b) 1,22 g, 0,03 mol,
0,265 mol/dm^3
c) $5{,}75 \cdot 10^{-3}$ mol/dm^3
d) 0,25932 mol/dm^3
e) $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ mol/dm^3

80. 9,3

81. a) 4,74
b) 4,68
c) 4,81

82. a) 1:1000, 1:100, 1:10, 1:1, 10:1, 100:1, 1000:1

84. a) $H_2PO_4^-$: 31 %, HPO_4^{2-}: 69 %

86. 90,8 *m*-%

88. a) 1,4 %
b) 0,18 %

90. b) 10,63

92. a) 0,22 M
c) $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ mol/l
d) 10,0 ml

93. a) $6{,}3 \cdot 10^{-10}$ M
b) 0,0064 %

94. b) 3 300 kg

96. c) 219,24 g/mol

98. a) $(C_3H_8O)_n$ tai C_3H_8O
b) C_3H_8O

104. $C_4H_{12}N$

107. a) C_4H_{10}

108. a) A ja E
b) D ja F
c) D ja F
d) A ja E
e) A, C ja E
f) A ja C

114. a) esteri: $C_5H_{10}O_2$ ($HCOOC_4H_9$), alkoholi: $C_4H_{10}O$ (C_4H_9OH)

120. b) $C_8H_{10}N_4O_2$

128. b) 3 360 g
c) 1 710 l
d) 33,7 MJ

131. 280,27 g/mol, $C_{18}H_{32}O_2$

135. 61 %

136. a) 1,50 g

140. a) $6{,}8 \cdot 10^{-6}$ mol/dm^3, $4{,}5 \cdot 10^{-6}$ mol/dm^3, $2{,}7 \cdot 10^{-6}$ mol/dm^3, $1{,}8 \cdot 10^{-6}$ mol/dm^3, $9{,}0 \cdot 10^{-7}$ mol/dm^3
c) $2{,}2 \cdot 10^{-5}$ mol/dm^3

143. b) 0,1026 mol
c) $MgCl_2 \cdot 6\ H_2O$

145. 90,9 *m*-%

147. c) 0,0496 mol/l

159. a) 5,67
b) 5,62

160. b) 0,40 g

161. c) 10,3 mg/l

169. a) $C_{19}H_{28}O_2$
b) 288,42 g/mol
c) $3{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol

176. f) –24 kJ/mol

177. a) proliini: $pK_1 = 1{,}99$ (RCO_2H), $pK_2 = 10{,}96$ (R_2NH^+); glutamiinihappo: $pK_1 = 2{,}19$, $pK_2 = 4{,}25$, $pK_3 = 9{,}67$
d) proliini: 6,48; glutamiinihappo: 3,22

181. d) 123

196. 8,2 kg

199. b) 15,6 g

Hakemisto

A

additioreaktio 115
adeniini 174
aldehydi 96
aldoosi 164
alkaani 96
alkeeni 96
alkoholi 96
alkylointi 114
alkyyni 96
amfolyytti 76
amidi 96
amiini 96
aminohappo 96, 170
amyloosi 166
amylopektiini 166
anodi 48
aromaattinen heterosyklinen rengas 92
aromaattinen yhdiste 92, 96
asymmetriakeskus 103
atomi 15
ATP (adenosiinitrifosfaatti) 178
avaruus- eli stereoisomeria 104

B

bentseenirengas 92
betoni 192
Brønsted-Lowryn teoria 76

C

CFC-yhdiste 147
cis-trans-isomeria 104

D

Daniellin pari 46
DDT 156
delokalisoitunut elektroni 92
denaturoituminen 173
denitrifikaatiobakteerit 153
deoksiribonukleiinihappo 174
deoksiriboosi 174
diffusio 177
dipoli 20
dipoli-dipolisidos 21
disakkaridi 165
dispersiovoimat 22
DNA 174
D-sokeri 164
dynaaminen tasapaino 66
dynaaminen tasapainotila 69

E

eetteri 96
eksoterminen reaktio 63
ekvivalenttikohta 80
elektrodi 45
elektroforeesi 134
elektrolyysi 52
eliminaatiosreaktio 116
elohopea 157
empiirinen kaava 94
emäs 76
emäsvakio 77
enantiomeeri 103
enantiomeria 104
endoterminen reaktio 63
entsyymi 173
epäjalot metallit 45
erikoiskeraamit 191
esteri 96, 132

F

fenoli 96
fluorattu hiilivety 147
fosfodiesterisidos 174

fosforin kierto 154
fruktoosi 164
funktioisomeria 104
furaani 156

G

galaktoosi 164
geeni 175
geometrinen isomeria 104
glukoosi 164
glykogeeni 166
gravimetrinen analyysi 135
guaniini 174

H

haihtuvat hiilivedyt 149
halogenointi 114
hapan laskeuma 152
hapetin 44
hapettuminen 44, 119
hapetusluku 44
happamoituminen 152
happikato 155
happiradikaali 146
happo 76
happoanhydridit 116
happo-emäspari 76
happo-emästitraus 80
happovakio 77
heikko emäs 77
heikko happo 76
hemoglobiini 172
Henderson-Hasselbalch-yhtälö 82
Hessin laki 64
heterogeeninen tasapaino 66
hiilikuitu 192
hiilinielu 151
hitaasti hajoavat orgaaniset ympäristömyrkyt 156
homogeeninen tasapaino 66
homologinen sarja 94
Hundin sääntö 15
hybridiorbitaali 90
hybridisaatio 90
hydraus 115
hydrolyysi 118

I

ilmastonmuutos 150
indikaattori 80
inertti elektrodi (passiivinen elektrodi) 53
inhibiittori 56, 65
ioni 15
ionimekanismi 111
ionisidos 18
ionitulo 69
ioniyhdiste 30
irreversiibeli reaktio 66
isomeria 103
isomerian lajit 104

J

jakso 17
jalot metallit 45
järjestysluku 17

K

kadmium, Cd 158
kahtaisioni 170
kaksoissidos 19, 91
karboksyylihappo 96
kasvihuoneilmiö 150
katalysaattori 149
katalyytti 65
katodi 48
kennokaavio 45
keraami 191
ketjuisomeria 104
ketoni 96
ketoosi 164
kiraliakeskus 103
kiteytys 136
klooraus 114

klooriradikaali 147
kohtio 48
kolmoissidos 19, 91
kondensoituminen (kondensaatioreaktio) 116
konformaatioisomeria 103, 104
konjugoitunut kaksoissidos 92
konstituutioisomeria 104
koordinaatiosidos 19
korroosio 56
korvautumisreaktio 114
kovalenttinen sidos 19
kromatografia 135
kuivalaskeuma 152
kuivapari 49
kvalitatiivinen analyysi 133
kvantitatiivinen analyysi 133
kvaternäärirakenne 171,172

L

laktoosi 165
le Châtelierin periaate 68
liittymisreaktio 115
linoleenihappo 168
lipidi 167
liukoisuustulo 69
liuos 137
lohkeamisreaktio 116
L-sokeri 164
lyijy, Pb 158
lyijyakku 49
lähdejännite 48

M

malmi 190
maltoosi 165
Markovnikovin sääntö 115
massaspektrometria 135
massavaikutuksen laki 67
messinki 192
metallien jännitesarja 45
metallisidos 21
metyylielohopea 157
minimienergiaperiaate 90
molekyyli 15
molekyylikaava 94
molekyyliorbitaali 90
molekyyliorbitaaliteoria 90
molekyyliyhdiste 30
monomeeri 187
monosakkaridi 164
muodostumisentalpia 64
muovi 187
märkälaskeuma 152

N

negatiivinen kohtio 48
neutraloituminen 80, 121
nitraus 114
nitrifikaatiobakteerit 153
normaalipotentiaali 47
normaalivetyelektrodi 45
nukleotidi 174

O

oksidi 40
oktettisääntö 90
oligosakkaridi 164
optinen isomeria 104
orbitaali 15
orgaaniset yhdisteet 88
orgaanisten yhdisteiden nimeäminen 98
osmoosi 177
otsoni 146

P

PAH-yhdiste 156
paikkaisomeria 104
palaminen 120
pasutus 190
patina 56
Paulin kieltosääntö 15
PCB 156

peilikuvaisomeeri 103
peilikuvaisomeria 104
pelkistin 44
pelkistyminen 44, 119
peptidisidos 171
pH 78
polttokenno 51
polyadditio 115, 187
polyesteri 189
polyeteeni 189
polykondensaatio 116, 187
polymeeri 187
polypeptidiketju 171
polypropeeni 189
polysakkaridi 166
polystyreeni 189
polyvinyylikloridi 189
poolinen kovalenttinen sidos 19
pooliton kovalenttinen sidos 19
positiivinen kohtio 48
primäärirakenne 171,172
proteiini 170
proteiinin laskostuminen 171
protoninsiirtoreaktio (protolyysireaktio) 76, 120
puoliläpäisevä kalvo 177
puskurikyky 82
puskuriliuoksen pH 82
puskuriliuos 82
puu 192
pysyvä rakenne 90
pääryhmä 17

R

radikaali 111
radikaalimekanismi 111
rakenneisomeria 104
rakennekaava 94
rakenneosa 15
raskasmetallit 156, 157
rasva 167
rasvahappo 167
ravintokuitu 167
reaktioentalpia (reaktiolämpö) 63
reaktiomekanismi 110
reaktionopeus 65
reaktioyhtälö 31
rehevöityminen 155
reseptori 173
reversiibeli reaktio 66
ribonukleiinihappo 174
riboosi 164, 174, 178
rikastus 190
rikkisilta 171
RNA 174
runkoisomeria 104

S

saippuoituminen 118
sakkaroosi 165
savi 192
sekundäärirakenne 171, 172
selluloosa 166
sementti 192
seoksen elektrolyysi 55
seos 14
sigmasidos 90
siirtymätila 62
siirtymätilateoria 62
sivuryhmä 17
soluhengitys 177
solukalvo 169
sp^2-hybridisaatio 91
sp^3-hybridisaatio 91
spektroskopia 134
sp-hybridisaatio 91
stearііnihappo 168
steerinen este 65
steroidi 169
substituurioreaktio 114
substraatti 173
suhdekaava 35, 94
suodatus 136
suolanmuodostusreaktio 121

suolasilta 46
synteesi 130
sytosiini 174
sähkökemiallinen pari 45

T

tasapainoreaktio 66
tasapainovakio 67
tertiäärirakenne 171, 172
tiivis oksidikerros 56
tislaus 136
titrantti 80
titraus 133
titrauskäyrä 80
toiminnallinen ryhmä 96
triglyseridi 167
tymiini 174
typen kierto 153
typensitojabakteerit 153
typpioksiduuli 150
tyydyttymättömät rasvat 168
tyydyttyneet rasvahapot 168
tärkkelys 166
törmäysteoria 62

U

uhrimetalli 56
urasiili 174
uutto 136

V

vahva emäs 77
vahva happo 76
valokemialliset reaktiot 149
vastinemäs 76
vastinhappo 76
veden autoprotolyysi 78
veden ionitulo K_w 78
vetysidos 21, 174
VSEPR-teoria 90

Y

yhdistetyyppi-isomeria 104
yhteyttäminen (fotosynteesi) 177
yksinkertainen sidos 19, 91
ympäristömyrkkyjen rikastuminen 158

Ö

öljyhappo 168

Valokuvien oikeudet

s. 7 iStockPhoto

s. 11 Mirva Kakko/Kuvaryhmä/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 14 Lawrence Lawry/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 23 Dan Sams/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 30 Steve Horrell/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 36 Martyn F. Chillmaid/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 44 Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 56 Colourbox

s. 62 iStockPhoto

s. 76 Gustoimages/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 78 Andrew Lambert Photography/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 88 Neal Grundy/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 97 Dr. Keith Wheeler/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 103 vas. Colourbox

s. 103 oik. Colourbox

s. 110 Tek Image/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 112 vas. Martyn F. Chillmaid/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 112 oik. Martyn F. Chillmaid/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 118 iStockPhoto

s. 130 Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 137 Colourbox

s. 144 Geoff Tompkinson/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 146 Hubert Raguet/Look At Sciences/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 153 Sinclair Stammers/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 164 Kevin Curtis/Science Photo Library/Suomen Kuvapalvelu Oy

s. 177 ylh. Colourbox

s. 177 alh. Colourbox

s. 186 Henn Photography/Cultura/Corbis/Suomen Kuvapalvelu Oy

Jaksollinen järjestelmä

	1												13	14	15	16	17	18
1	1 **H** 1,008	2																2 **He** 4,003
2	3 **Li** 6,94	4 **Be** 9,012											5 **B** 10,81	6 **C** 12,01	7 **N** 14,01	8 **O** 16,00	9 **F** 19,00	10 **Ne** 20,18
3	11 **Na** 22,99	12 **Mg** 24,31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 **Al** 26,98	14 **Si** 28,09	15 **P** 30,97	16 **S** 32,06	17 **Cl** 35,45	18 **Ar** 39,95
4	19 **K** 39,10	20 **Ca** 40,08	21 **Sc** 44,96	22 **Ti** 47,87	23 **V** 50,94	24 **Cr** 52,00	25 **Mn** 54,94	26 **Fe** 55,85	27 **Co** 58,93	28 **Ni** 58,69	29 **Cu** 63,55	30 **Zn** 65,38	31 **Ga** 69,72	32 **Ge** 72,63	33 **As** 74,92	34 **Se** 78,97	35 **Br** 79,90	36 **Kr** 83,80
5	37 **Rb** 85,47	38 **Sr** 87,62	39 **Y** 88,91	40 **Zr** 91,22	41 **Nb** 92,91	42 **Mo** 95,95	43 **Tc** (97)	44 **Ru** 101,07	45 **Rh** 102,91	46 **Pd** 106,42	47 **Ag** 107,87	48 **Cd** 112,41	49 **In** 114,82	50 **Sn** 118,71	51 **Sb** 121,76	52 **Te** 127,60	53 **I** 126,90	54 **Xe** 131,29
6	55 **Cs** 132,91	56 **Ba** 137,33	57–71 *	72 **Hf** 178,49	73 **Ta** 180,95	74 **W** 183,84	75 **Re** 186,21	76 **Os** 190,23	77 **Ir** 192,22	78 **Pt** 195,08	79 **Au** 196,97	80 **Hg** 200,59	81 **Tl** 204,38	82 **Pb** 207,2	83 **Bi** 208,98	84 **Po** (209)	85 **At** (210)	86 **Rn** (222)
7	87 **Fr** (223)	88 **Ra** (226)	89–103 #	104 **Rf** (267)	105 **Db** (270)	106 **Sg** (271)	107 **Bh** (270)	108 **Hs** (277)	109 **Mt** (276)	110 **Ds** (281)	111 **Rg** (282)	112 **Cn** (285)	113 **Uut** (285)	114 **Fl** (289)	115 **Uup** (288)	116 **Lv** (293)	117 **Uus** (294)	118 **Uuo** (294)

Lantanoidit *	57 **La** 138,91	58 **Ce** 140,12	59 **Pr** 140,91	60 **Nd** 144,24	61 **Pm** (145)	62 **Sm** 150,36	63 **Eu** 151,96	64 **Gd** 157,25	65 **Tb** 158,93	66 **Dy** 162,50	67 **Ho** 164,93	68 **Er** 167,26	69 **Tm** 168,93	70 **Yb** 173,05	71 **Lu** 174,97
Aktinoidit #	89 **Ac** (227)	90 **Th** 232,04	91 **Pa** 231,04	92 **U** 238,03	93 **Np** (237)	94 **Pu** (244)	95 **Am** (243)	96 **Cm** (247)	97 **Bk** (247)	98 **Cf** (251)	99 **Es** (252)	100 **Fm** (257)	101 **Md** (258)	102 **No** (259)	103 **Lr** (262)

Sulkuihin on merkitty radioaktiivisen alkuaineen pitkäikäisimmän isotoopin massaluku.

metallit | epämetallit | sivuryhmät | puolimetallit | jalokaasut

1 Aineen rakenne

Tehtävien 1–11 ratkaisut

1.

a) Ca

b) Br (esiintyy kaksiatomisena molekyylinä Br_2)

c) F

d) Fr

e) Cu

2.

a) Kiinteässä litiumkloridissa on positiivisten litiumionien ja negatiivisten kloridi-ionien välisiä ionisidoksia.

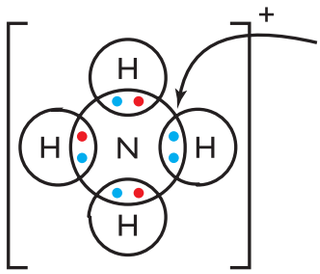
b) Litiumkloridin vesiliuoksessa ionisidokset ovat purkautuneet, ja on syntynyt ionien ja vesimolekyylien välisiä ioni-dipolisidoksia. Vesimolekyyleissä on kaksi hapen ja vedyn välistä poolista, kovalenttista yksinkertaista sidosta.

c) Kiinteää litiummetallia pitävät yhdessä metallisidokset. Tällöin metalliatomit luovuttavat ulkoelektroninsa yhteiseen käyttöön, ja elektronit liittävät positiivisesti varautuneet litiumionit toisiinsa.

d) Vetykaasussa poolittomien vetymolekyylien välillä on dispersiovoimia. Vetymolekyylissä on vetyatomien välillä pooliton, kovalenttinen yksinkertainen sidos.

e) Hiilidioksidimolekyylissä on kaksi hiilen ja hapen välistä poolista, kovalenttista kaksoissidosta. Molekyylin lineaarinen muoto estää dipolin syntymisen, ja molekyyli on pooliton. Kiinteässä hiilidioksidissa molekyylien välissä on dispersiovoimia.

f) Nestemäisessä ammoniumkloridissa on positiivisten ammonium- ja negatiivisten kloridi-ionien välisiä ionisidoksia. Ammoniumionissa on typen ja vedyn välisiä poolisia, kovalenttisia sidoksia, joista yksi on koordinaatiosidos.



3.

	Br^-	OH^-	CO_3^{2-}	N^{3-}
Na^+	NaBr natrium-bromidi	NaOH natriumhydroksidi	Na_2CO_3 natriumkarbonaatti	Na_3N natriumnitridi
Fe^{2+}	$FeBr_2$ rauta(II)bromidi	$Fe(OH)_2$ rauta(II)hydroksidi	$FeCO_3$ rauta(II)karbonaatti	Fe_3N_2 rauta(II)nitridi
NH_4^+	NH_4Br ammonium-bromidi	NH_4OH ammonium-hydroksidi	$(NH_4)_2CO_3$ ammonium-karbonaatti	$(NH_4)_3N$ ammoniumnitridi
Al^{3+}	$AlBr_3$ alumiinibromidi	$Al(OH)_3$ alumiinihydroksidi	$Al_2(CO_3)_3$ alumiinikarbonaatti	AlN alumiininitridi

4.

a) Argonatomin elektronirakenne on $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$. Sillä on siis energeettisesti edullinen oktettirakenne, eli uloimmalla energiatasolla on kahdeksan ulkoelektronia. Oktettirakenne on pysyvä.

b) Fluoriatomin elektronirakenne on $1s^2 2s^2 2p^5$. Fluoridi-ionissa on oktetti: $1s^2 2s^2 2p^6$ = [Ar] eli pysyvä jalokaasun elektronirakenne.

c) Strontiumatomin elektronirakenne on $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2$. Strontiumionin muodostuessa strontiumatomi on luovuttanut kaksi viidennen energiatason elektronia ja ioniin on muodostunut oktetti neljännelle energiatasolle.

d) Osmiumatomin elektronirakenne on $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^6$. Osmiumatomin muodostaessa ionin hapetusluvulla +III se luovuttaa kaksi 6s-elektronia ja yhden 5d-elektronin, jolloin 5d-energiatasolle tulee pysyvä puolimiehitys.

5.

a)

b)

c)

d)

6.

Mitä poolisempi aine, sitä paremmin se liukenee veteen. Ioniyhdisteiden vesiliukoisuus on tarkistettava taulukkokirjasta. Olomuodon muutoksessa purkautuvat rakenneosien väliset sidokset. Mitä vahvempia sidokset ovat, sitä korkeampi on sulamispiste. Olomuotoon vaikuttaa myös rakenneosien koko. Dispersiovoimat kasvavat moolimassan kasvaessa.

a) Propaani on hiilivety ja pooliton yhdiste, joten se ei liukene pooliseen veteen. Poolittomien propaanimolekyylien välillä vaikuttavat heikot dispersiovoimat ja molekyylit ovat pieniä, joten propaani on huoneenlämpötilassa kaasu.

b) Litiumfluoridi on ioniyhdiste, jossa ionien välillä vaikuttavat vahvat ionisidokset, ja se on huoneenlämpötilassa kiinteä aine. Litiumfluoridi on veteen niukkaliukoinen, mutta liukenee happoihin.

c) Etanolimolekyylin C–O- ja O–H-sidokset ovat poolisia, ja kokonaisuutena etanoli on poolinen yhdiste. Siten etanoli liukenee pooliseen veteen. Etanolimolekkyylien välillä on vetysidoksia. Vetysidokset ovat poikkeuksellisen vahvoja dipoli-dipolisidoksia ja ne nostavat etanolin kiehumispistettä. Siten etanoli on pienestä molekyylikoostaan huolimatta huoneenlämpötilassa neste.

7.

Aine johtaa sähköä, jos aineessa on varattuja hiukkasia, elektroneja tai ioneja, jotka pääsevät liikkumaan.

a) Vesi koostuu poolisista molekyyleistä. Vesi on sekä heikko happo että heikko emäs, ja veden autoprotolyysissä syntyy oksonium- ja hydroksidi-ioneja vähän. Vesi on lähes sähköäjohtamaton.

b) Kiinteässä kalsiumoksidissa ionit eivät pääse liikkumaan, vaan ionit värähtelevät ionihilassa. Kiinteä kalsiumoksidi ei johda sähköä.

c) Kalsiumoksidin sulatteessa kalsium- ja oksidi-ionit pääsevät liikkumaan, joten aine johtaa sähköä.

d) Kalsiumoksidi reagoi veden kanssa. Vesiliuoksessa kalsiumionit ja oksidi-ioneista muodostuneet hydroksidi-ionit pääsevät liikkumaan, joten aine johtaa sähköä.

e) Nestemäisessä etaanihapossa ei ole varattuja hiukkasia, jotka pääsevät liikkumaan. Etaanihappo koostuu poolisista molekyyleistä.

f) Etaanihapon vesiliuoksessa osa etaanihappomolekyyleistä on protolysoitunut, ja liuokseen on muodostunut oksonium- ja asetaatti-ioneja, joten liuos johtaa sähköä.

8.

a) Jalokaasuilla on pysyvä elektronirakenne: heliumatomilla on uloin energiataso täynnä ja muilla jalokaasuatomeilla on oktetti.

b) Magnesiumin metallihilassa sähköä johtavat vapaasti liikkuvat sidoselektronit, mutta ionirakenteisessa magnesiumkloridissa ionit eivät pääse liikkumaan vapaasti kiinteässä olomuodossa.

c) Jaksollisen järjestelmän ryhmässä atomien järjestysluku kasvaa, kun edetään ryhmässä ylhäältä alaspäin. Atomien rakenteeseen tulee lisää elektronien energiatasoja, joten atomien koot kasvavat.

d) Metalliatomit luovuttavat uloimman energiatasonsa elektronit pois, joten vastaavien ionien koot pienenevät. Protonien lukumäärä pysyy samana, ja ydin vetää jäljelle jääneitä elektroneja voimakkaammin puoleensa. Epämetalliatomien vastaanottaessa lisää elektroneja vastaavien ionien koot ovat suurempia.

e) Atomien järjestysluku kasvaa, kun jaksollisessa järjestelmässä edetään vasemmalta oikealle. Järjestysluku kertoo atomien ytimissä olevien protonien määrän. Kun protonien ja elektronien määrä kasvaa ja samalla energiatasojen määrä pysyy samana, vuorovaikutus ytimen ja uloimpien elektronien välillä on suurempi vaikuttaen atomien koon pienenemiseen. Varaus on suurentunut etäisyyden pysyessä samana, joten vetovoima kasvaa.

f) Sivuryhmien alkuaineilla atomien ulomman energiatason täyttyminen on keskeytynyt ja viimeiset elektronit ovat d- tai f-alatasoilla. D- ja f-alatasojen elektronien energia on lähellä uloimman energiatason energiaa, ja reaktioon voivat osallistua uloimman energiatason elektronit sekä d- tai f-elektronit. Siksi sivuryhmien alkuaineilla on useita hapetuslukuja.

9.

a) Etaani C_2H_6 koostuu poolittomista, pienistä molekyyleistä. Poolittomien molekyylien välillä vaikuttavat vain heikot dispersiovoimat, jolloin tarvitaan vähän lämpöenergiaa rakenneosien liikkeen lisäämiseen ja aineen olomuodon muutokseen. Etanoli koostuu poolisista molekyyleistä, joiden välillä on vetysidoksia. Vetysidokset ovat poikkeuksellisen vahvoja dipoli-dipolisidoksia ja ne nostavat etanolin kiehumispistettä. Etanolilla on siis korkeampi kiehumispiste kuin etaanilla.

b) Dietyylieetteri on pooliton molekyyli. Sen muoto estää napojen syntymisen, ja molekyylin sisälle ei muodostu varausjakaumaa. Butan-1-olissa on lähes pooliton neljän hiilen ketju ja poolinen hydroksyyliryhmä. Poolittomien molekyylien väliset dispersiovuorovaikutukset ovat heikommat kuin poolisten ryhmien väliset dipoli-dipolisidokset. Butan-1-olimolekyylien hydroksyyliryhmien välillä vaikuttavat dipoli-dipolisidosten erityistapaus vetysidokset. Butan-1-olilla on siis korkeampi kiehumispiste kuin dietyylieetterillä.

c) Molekyylien moolimassat ovat yhtä suuret ja molekyylit ovat poolittomia. Haaroittumattomat pentaanimolekyylit muodostavat enemmän heikkoja dispersiovoimia, joten pentaanilla on korkeampi sulamispiste.

10.

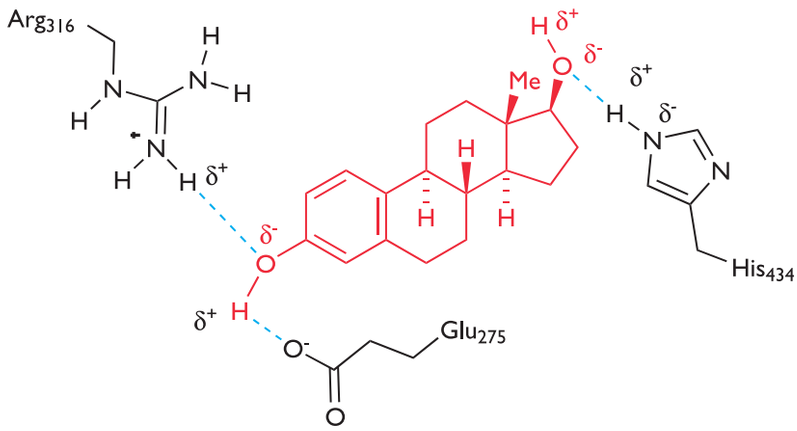
a) Ga (Gallium)

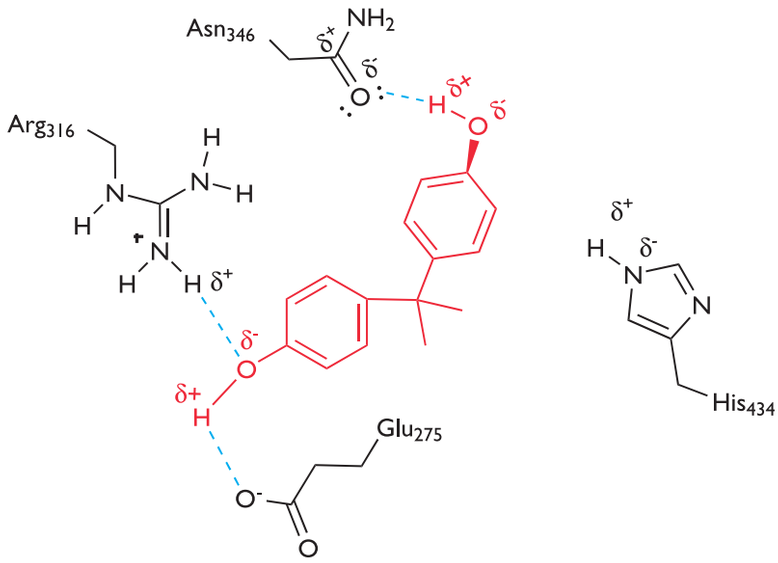
b) N (typpi)

c) I (jodi)

d) $^{11}_{5}B$ ja $^{7}_{3}Li$

11.





1 Aineen rakenne

Ylioppilastehtävien 12–21 ratkaisut

12.

Allotropialla tarkoitetaan alkuaineiden kykyä esiintyä samassa paineessa ja lämpötilassa erilaisissa kemiallisissa muodoissa. Esimerkiksi hapella on kaksi allotrooppista muotoa O_2 ja O_3, joilla ero on atomien lukumäärässä. Hiilen allotrooppisia muotoja ovat mm. timantti, grafiitti, fullereeni, grafeeni ja nanoputket. Hiilen allotroopeilla ero on hiiliatomien muodostamissa sidoksissa.

Oikeanpuoleinen kuva esittää timanttia ja vasemmanpuoleinen grafiittia. Timantissa jokainen hiiliatomi muodostaa kovalenttisen sidoksen neljän muun hiiliatomin kanssa. Sidokset ovat lujia, joten timantti on kovaa ainetta, ja timantin sulamispiste on korkea. Timantin hilarakenteessa ei ole vapaasti liikkuvia elektroneja, joten timantti ei johda sähköä. Timantti on väritöntä ja voimakkaasti valoa taittavaa.

Grafiitissa jokainen hiiliatomi on sitoutunut kovalenttisella sidoksella kolmen muun hiiliatomin kanssa ja yksi ulkoelektroni on vapaana. Atomit ovat järjestäytyneet tasossa kuusirenkaiksi. Tasojen välissä on vapaiden ulkoelektronien muodostama elektronipilvi, joten grafiitti johtaa sähköä. Kidetasojen välillä on vain heikkoja sidoksia, joten grafiitti on pehmeää. Grafiitti on mustaa, läpinäkymätöntä ja tahraavaa.

13.

Vesi koostuu poolisista molekyyleistä, joiden välillä on vetysidokset. Vetysidokset ovat poikkeuksellisen vahvoja dipoli-dipolisidoksia ja veden sulamis- ja kiehumispisteet ovat huomattavasti korkeampia kuin veden molekyylikoon perusteella voisi olettaa. Veden jäätyessä molekyylit järjestäytyvät vetysidoksilla säännölliseen molekyylihilaan, jossa molekyylien väliin jää enemmän tilaa kuin nestemäisessä vedessä ja jää on nestemäistä vettä harvempaa. Vedellä on muihin molekyylikooltaan vastaavan kokoisiin yhdisteisiin verrattuna korkea ominaislämpökapasiteetti, ominaissulamislämpö ja höyrystymislämpö. Veden lämpeneminen, sulaminen ja höyrystyminen sitovat paljon energiaa vetysidosten katkeamisen takia. Vesi on hyvä liuotin. Vesi liuottaa poolisia yhdisteitä, jos vesimolekyylit muodostavat riittävästi dipoli-dipolisidoksia liuotettavan aineen molekyylien kanssa. Ioniyhdisteet liukenevat veteen, jos vesimolekyylit muodostavat vastaavasti ioni-dipolisidoksia. Vedellä on suuri pintajännitys, mikä johtuu siitä, että veden pinnalla oleviin molekyyleihin kohdistuu nesteestä suurempi vuorovaikutus kuin ilmasta. Veden pintajännityksestä johtuen pienet esineet pysyvät veden pinnalla, vaikka esineiden tiheys olisi veden tiheyttä suurempi.

14.

Kuvaajassa on happiryhmän vety-yhdisteiden kiehumispisteet. Molekyylien suhteellinen massa kasvaa happiryhmän atomien kokojen mukaisessa järjestyksessä: O, S, Se ja Te. Molekyylin koon suurentuessa molekyylin liikkeen lisääminen sitoo enemmän energiaa ja kiehumispiste kasvaa. Veden poikkeuksellisen korkea kiehumispiste johtuu poolisten vesimolekyylien välisistä vetysidoksista, joiden purkaminen vaatii paljon energiaa. Muiden molekyylien välillä vaikuttavat vain heikot dispersiovoimat, koska molekyylit ovat poolittomia.

15.

a) Hapen elektronegatiivisuus on 3,5 ja vedyn 2,1. Happi on selvästi elektronegatiivisempi kuin vety, joten vesimolekyylissä on kaksi poolista yksinkertaista, kovalenttista sidosta happi- ja vetyatomien välissä. Happiatomi on sp^3-hybridisoitunut ja happiatomin vapaat elektroniparit tekevät molekyylistä V-muotoisen, ja molekyyli on poolinen. Vetyatomeilla on positiiviset osittaisvaraukset ja hapella negatiivinen. Nestemäisessä vedessä vesimolekyylit sitoutuvat toisiinsa vetysidoksilla, jotka ovat poikkeuksellisen vahvoja dipoli-dipolisidoksia.

b) Typen elektronegatiivisuus on 3,0 ja vedyn 2,1. Ammoniakkimolekyylissä on kolme typen ja vedyn välistä yksinkertaista, kovalenttista poolista sidosta. Typpiatomi on sp^3-hybridisoitunut ja vapaa elektronipari tekee molekyylin muodoksi säännöllisen kolmisivuisen pyramidin, ja molekyyli on poolinen. Nestemäisessä ammoniakissa molekyylien välillä on vetysidoksia.

c) Hiilen elektronegatiivisuus on 2,5, joten metaanimolekyylissä olevat neljä hiilen ja vedyn välistä yksinkertaista, kovalenttista sidosta ovat heikosti poolisia. Hiiliatomi on sp^3-hybridisoitunut ja metaanimolekyyli on muodoltaan symmetrinen, tetraedri, eikä molekyyliin muodostu napoja. Metaanimolekyyli on pooliton. Nestemäisessä metaanissa molekyylien välillä on heikkoja dispersiovoimia.

16.

a) Kulta on jalometalli, joka esiintyy luonnossa sellaisenaan. Keltainen kulta on helppo havaita pieninäkin määrinä. Rauta on epäjalo metalli, joka hapettuu helposti. Rautamalmeja osattiin käsitellä jo 2500 eKr, vaikkakin raudan suurimuotoinen tuottaminen pystyttiin aloittamaan vasta ahjon kehittämisen jälkeen. Alumiini on rautaa epäjalompi ja sen valmistaminen tehdään elektrolyyttisesti eli sähkövirran avulla. Tämä mahdollistui vasta sähkövoimaloiden rakentamisen jälkeen 1800-luvun lopussa.

b) Samalla alkuaineella voi olla useita isotooppeja eli atomeja, joiden ytimessä on eri määrä neutroneja. Alkuaineen kaikissa atomien ytimissä on aina sama määrä protoneja. Protonien lukumäärä ilmoitetaan järjestysluvulla. Neutronien lukumäärän voi laskea massaluvun ja järjestysluvun erotuksena.

17.

Atomin ionisoitumisenergialla tarkoitetaan energiaa, joka tarvitaan elektronin poistamiseen kaasutilaisesta atomista. Atomista voidaan poistaa useampia elektroneja, jolloin käytetään termejä ensimmäinen ionisoitumisenergia, toinen ionisoitumisenergia jne.

Kuvassa näkyy ionisoitumisenergian kasvaminen siirryttäessä jaksollisessa järjestelmässä samassa jaksossa vasemmalta oikealle. Saman jakson alkuaineilla on sama pääkvanttiluvun arvo ja uloimmat elektronit ovat sijoittuneet samalle energiatasolle. Alkuaineen järjestysluku ja atomien ytimen positiivinen varaus kasvavat jaksossa vasemmalta oikealle. Näin ollen elektronin poistamiseen tarvitaan enemmän energiaa ja ionisoitumisenergia kasvaa.

Ionisoitumisenergia pienenee samassa ryhmässä siirryttäessä ylhäältä alas. Tällöin ulkoelektronit ovat keskimäärin kauempana ytimestä, koska energiatasojen määrä lisääntyy. Ulkoelektronien ja ytimen välinen vetovoima pienenee ja ionisoitumisenergia pienenee.

Jaksojen sisällä on atomeja, joiden ionisoitumisenergiat poikkeavat yleissäännöistä. Siihen vaikuttavat täydet ja puoliksi täydet alatasot, jotka ovat energeettisesti pysyviä atomin rakenteita.

18.

a) Isotoopit ovat saman alkuaineen atomeja, joilla on ytimessä eri määrä neutroneja.

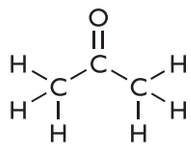
b) Isotooppien elektronirakenne on samanlainen, joten niillä on samanlaiset kemialliset ominaisuudet. Isotooppien atomimassat ovat erisuuret johtuen neutronien erilaisesta määrästä ytimessä.

c) Atomimassojen vertailumassaksi on valittu C-12-isotoopin massa. C-12-isotoopin suhteelliseksi atomimassaksi on määritelty arvo 12. Alkuainetaulukossa esiintyvä hiilen suhteellinen atomimassa 12,01 on eri hiilen isotooppien esiintymisprosenteilla painotettu suhteellisten atomimassojen keskiarvo. Hiilellä on pysyvä isotooppi C-13, joten keskiarvo on suurempi kuin 12.

d) C-14-isotooppia käytetään radiohiiliajoituksessa. C-14-isotooppi on radioaktiivinen, mutta sen pitoisuus pysyy vakiona ilmakehässä ja elävissä organismeissa. Kun eliö kuolee, sen C-14 pitoisuus pienenee tunnetun puoliintumisajan mukaan.

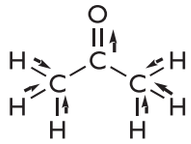
19.

a)



Hiiliatomit, joista lähtee neljä yksinkertaista sidosta, ovat sp^3-hybridisoituneet ja sidoskulmat ovat 109°. Asetonimolekyylin keskimmäinen hiiliatomi on sp^2-hybridisoitunut ja sidoskulmat ovat 120°. Happiatomilla on kaksi vapaata elektroniparia.

b) Asetonimolekyylissä on hiili- ja vetyatomien välisiä heikosti poolisia yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia, hiiliatomien välisiä poolittomia yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia sekä hiiliatomin ja happiatomin välinen poolinen, kovalenttinen kaksoissidos. Asetonimolekyylissä varausjakauma on epäsymmetrinen. Alla olevassa kuvassa on esitetty, mihin suuntaan sidoksen elektronegatiivisempi atomi vetää sidoselektroneja.



c) Poolisten asetonimolekyylien välillä on dipoli-dipolisidoksia. Propanolimolekyylien välillä on poikkeuksellisen vahvoja dipoli-dipolisidoksia, vetysidoksia, jotka nostavat propanolin kiehumispistettä. Vetysidoksia pystyy muodostumaan molekyylien happi-, typpi- tai fluoriatomin ja toisen molekyylin vetyatomin välille, jos vetyatomi on omassa molekyylissään sitoutuneena happi-, typpi- tai fluoriatomiin.

20.

a) $Tl^{3+}(aq) + 3I^{-}(aq) \rightarrow I_2(s) + TlI(s)$

b) $$M(Tl_2SO_4) = (2 \cdot 204,38 + 32,07 + 4 \cdot 16,00)\,\frac{g}{mol} = 504,83\,\frac{g}{mol}$$

$$n(Tl_2SO_4) = \frac{m}{M} = \frac{0,4\ g}{504,83\,\frac{g}{mol}} = 7,92346 \cdot 10^{-4}\ mol$$

$$n(Tl^{+}) = 2 \cdot n(Tl_2SO_4)$$

$$n(KFe[Fe(CN)_6]) = n(Tl^{+})$$

$$m(KFe[Fe(CN)_6]) = n \cdot M = 2 \cdot 7,92346 \cdot 10^{-4}\,mol \cdot (39,10 + 2 \cdot 55,85 + 6 \cdot 12,01 + 6 \cdot 14,01)\frac{g}{mol}$$

$$= 0,486374\ g \approx 0,5\ g$$

Vastaus: Vasta-ainetta tarvitaan 0,5 g.

c) Talliumatomin elektronirakenne on $[Xe]5d^{10}6s^{2}6p^{1}$. Tl^{+}-ionissa talliumatomi on luovuttanut uloimman energiatason p-elektronin saavuttaen rakenteen, jossa uloin energiataso 6s on täynnä ja rakenne on pysyvä. Tl^{3+}-ionissa talliumatomi on luovuttanut uloimman p-elektronin lisäksi 6s-energiatason molemmat elektronit ja rakenne on pysyvä, koska 5d-energiataso on täynnä.

21.

a) Alkuaine koostuu atomeista, joissa kaikissa on sama määrä protoneja.

b) Alkuainetta esittää kuvio D, puhdasta ainetta esittävät A, B ja D, yhdistettä A ja B ja seosta kuvio C.

2 Reaktioyhtälöt

Tehtävien 22–30 ratkaisut

22.

a) $Mn(NO_3)_2 \rightarrow MnO_2 + 2\ NO_2$

b) $Na_2CO_3 + 2\ HCl \rightarrow 2\ NaCl + CO_2 + H_2O$

c) $2\ V_2O_5 + 6\ S_2Cl_2 \rightarrow 4\ VCl_3 + 5\ SO_2 + 7\ S$

d) $4\ C_{17}H_{19}NO_3 + 85\ O_2 \rightarrow 68\ CO_2 + 38\ H_2O + 4\ NO_2$

e) $3\ Sn^{2+}(aq) + 18\ Cl^{-}(aq) + 2\ As^{3+} \rightarrow 2\ As + 3\ SnCl_6^{2-}(aq)$

g) $C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2} O_2 \rightarrow n\ CO_2 + (n+1)\ H_2O$

Reaktioyhtälöistä ei käy ilmi esimerkiksi
- reaktion nopeus
- aineiden ominaisuudet
- reaktiomekanismit
- meneekö reaktio loppuun asti.

23.

a) $2\ N_2O_5(s) \rightarrow 4\ NO_2(g) + O_2(g)$

b) $2\ C_4H_{10}(g) + 13\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2(g) + 10\ H_2O$

c) $Na_2SO_4(s) + 2\ C(s) \rightarrow Na_2S(s) + 2\ CO_2(g)$

d) $MgCO_3(s) \xrightarrow{\triangle} CO_2(g) + MgO(s)$

e) $2\ Li(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow Li_2SO_4(aq) + H_2(g)$

f) $2\ H_3AsO_4 \rightleftharpoons As_2O_5 + 3\ H_2O$

g) $Cl_2(g) + 2\ NaI(aq) \rightarrow 2\ NaCl(aq) + I_2(s)$

h) $(COOH)_2(aq) + 2\ NaOH(aq) \rightarrow 2\ COONa(aq) + 2\ H_2O(l)$

24.

a) 0

b) +V

c) +III

d −III (+NH4) ja +III (NO_2^-)

e) +IV

25.

a) $2\ Ca + O_2 \rightarrow 2\ CaO$

b) $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

c) $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

d) $CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$

e) $Ca(HCO_3)_2 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + 2\ CO_2 + 2\ H_2O$

26.

a) $4\ FeCr_2O_4 + 8\ Na_2CO_3 + 8\ CaO + 7\ O_2 \rightarrow 8\ Na_2CrO_4 + 2\ Fe_2O_3 + 8\ CaCO_3$

b) $n(FeCr_2O_4) = \frac{m}{M} = \frac{1100\ \text{kg}}{(55{,}85 + 2 \cdot 52{,}00 + 4 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 4{,}91400\ \text{kmol}$

Reaktioyhtälön kertomista:

$n(Na_2CrO_4) = 2 \cdot n(FeCr_2O_4)$

$$\begin{aligned} m(Na_2CrO_4) &= n \cdot M(Na_2Cr_2O_4) \\ &= 2 \cdot \frac{1100\ \text{kg}}{(55{,}85 + 2 \cdot 52{,}00 + 4 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot (2 \cdot 22{,}99 + 52{,}00 + 4 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ &= 1591{,}9\ \text{kg} \\ &\approx 1600\ \text{kg} \end{aligned}$$

Vastaus: Natriumkromaattia syntyy 1 600 kg.

27.

a) $5\ C_2O_4^{2-} + 2\ MnO_4^- + 16\ H^+ \rightarrow 10\ CO_2 + 2\ Mn^{2+} + 8\ H_2O$

b) Hiilen hapetusluku muuttuu arvosta +III arvoon +IV, joten hiili hapettuu. Mangaanin hapetusluku muuttuu arvosta +VII arvoon +II, joten mangaani pelkistyy.

c) $n(MnO_4^-) = c \cdot V = 0{,}15\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 13{,}2\ \text{ml} = 1{,}98\ \text{mmol}$

$$\frac{n(C_2O_4^{2-})}{n(MnO_4^-)} = \frac{5}{2}$$

$$n(Ca^{2+}) = n(C_2O_4^{2-}) = \frac{5}{2} \cdot n(MnO_4^-) = 4{,}95\ \text{mmol}$$

$$m(Ca^{2+}) = n \cdot M = 4{,}95\ \text{mmol} \cdot 40{,}08\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$= 198{,}396\ \text{mg}$$

$$\approx 0{,}20\ \text{g}$$

Vastaus: Näyte sisälsi kalsiumia 0,20 g.

28.

Palamisreaktiot:

$2\ C_4H_{10}(g) + 13\ O_2(g) \rightarrow 8\ CO_2(g) + 10\ H_2O(g)$; reaktio 1

$C_3H_8(g) + 5\ O_2(g) \rightarrow 3\ CO_2(g) + 4\ H_2O(g)$; reaktio 2.

Samoissa oloissa kaasujen ainemäärät ovat verrannolliset niiden tilavuuksiin:

$$V(O_2)_1 = \frac{13}{2} \cdot V(C_4H_{10})$$

$$V(O_2)_2 = 5 \cdot V(C_3H_8)$$

joten

$$V(O_2)_{\text{kok}} = V(O_2)_1 + V(O_2)_2 = \frac{13}{2} \cdot 0{,}02 \cdot 12\ \text{l} + 5 \cdot 0{,}98 \cdot 12\ \text{l}$$

$$= 60{,}36\ \text{l}$$

$$\approx 60\ \text{l}$$

Vastaus: Happea tarvitaan 60 litraa.

29.

a) $n(\mathrm{BaSO_4}) = \dfrac{m}{M} = \dfrac{0{,}33\ \mathrm{g}}{(137{,}33 + 32{,}07 + 4 \cdot 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}0014139\ \mathrm{mol}$

Koska oletetaan, että kaikki öljyn sisältämä rikki saostui sulfaattina

$n(\mathrm{S}) = n(\mathrm{BaSO_4})$

$m(\mathrm{S}) = n \cdot M = 0{,}0014139\ \mathrm{mol} \cdot 32{,}07\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 0{,}045344\ \mathrm{g}$

ja öljyn rikkipitoisuus = $m(\mathrm{S})$: m(näyte) ≈ 0,87 % < 1,00 %.

Vastaus: Öljy oli rikkipitoisuudeltaan asetuksen mukaista.

b) Sadassa kilogrammassa öljyä on rikkiä 0,0086534 · 100 kg = 0,86534 kg. Rikin palaessa kaikki rikki muuttuu rikkitrioksidiksi joten $n(\mathrm{S}) = n(\mathrm{SO_3})$.

$$m(\mathrm{SO_3}) = n \cdot M = \frac{0{,}86534\ \mathrm{kg}}{32{,}07\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot (32{,}07 + 3 \cdot 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$
$$= 2{,}16052\ \mathrm{kg}$$
$$\approx 2{,}2\ \mathrm{kg}$$

Vastaus: Rikkitrioksidia muodostuisi 2,2 kg.

c) Rikkihapon muodostumisreaktio: $\mathrm{SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4}$

Neutraloitumisreaktio: $\mathrm{H_2SO_4 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2\ H_2O}$

$n(\mathrm{NaOH}) = 2 \cdot n(\mathrm{H_2SO_4}) = 2 \cdot n(\mathrm{SO_3})$

$$m(\mathrm{NaOH}) = n \cdot M = 2 \cdot \frac{0{,}86534\ \mathrm{kg}}{32{,}07\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot (22{,}99 + 16{,}00 + 1{,}008)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$
$$= 2{,}15852\ \mathrm{kg}$$
$$\approx 2{,}2\ \mathrm{kg}$$

Vastaus: Natriumhydroksidia tarvittaisiin 2,2 kg rikkihapon neutraloimiseksi.

30.

Reaktioyhtälöt ovat

$2\ LiNO_3(s) \rightarrow 2\ LiNO_2(s) + O_2(g)$ ja

$2\ KNO_3(s) \rightarrow 2\ KNO_2(s) + O_2(g)$.

Merkitään ensimmäiseen reaktioon liittyviä ainemääriä alaindeksillä 1 ja toiseen reaktioon liittyviä alaindeksillä 2.

$$m(LiNO_3 + KNO_3) = 2 \cdot n_1 \cdot M(LiNO_3) + 2 \cdot n_2 \cdot M(KNO_3) = 100\ \text{g}$$
$$m(O_2) = (n_1 + n_2) \cdot M(O_2) = 19{,}5\ \text{g}$$

$$M(LiNO_3) = 68{,}951\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(KNO_3) = 101{,}11\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(O_2) = 32{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Ratkaistaan n_1 ylemmästä yhtälöstä ja n_2 alemmasta ja sijoitetaan n_2:n lauseke n_1:n lausekkeeseen. Yksiköt jätetään pois merkintöjen helpottamiseksi.

$$n_1 = \frac{100 - 2 \cdot n_2 \cdot \text{M}(KNO_3)}{2 \cdot M(LiNO_3)} = \frac{50 - n_2 \cdot M(KNO_3)}{M(LiNO_3)}$$

$$n_2 = \frac{19{,}5 - n_1 \cdot M(O_2)}{M(O_2)} = \frac{19{,}5}{M(O_2)} - n_1$$

$$n_1 = \frac{50 - \left(\frac{19{,}5}{M(O_2)} - n_1 \right) \cdot M(KNO_3)}{M(LiNO_3)}$$

$$= \frac{50 - \frac{19{,}5 \cdot M(KNO_3)}{M(O_2)}}{M(LiNO_3) - M(KNO_3)} = \frac{50 - \frac{19{,}5 \cdot 101{,}11}{32{,}00}}{68{,}951 - 101{,}11} \approx 0{,}36114\ \text{mol}$$

$$m(LiNO_3) = n_1 \cdot M(LiNO_3) \approx 0{,}36114\ \text{mol} \cdot 68{,}951\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$
$$\approx 24{,}901\ \text{g}$$
$$\approx 25\ \text{g}$$

Vastaus: Seos sisälsi litiumnitraattia 25 g.

2 Reaktioyhtälöt

Ylioppilas- ja pääsykoetehtävien 31–36 ratkaisut

31.

Lasketaan lähtöaineiden ainemäärät, jotta saadaan selville rajoittava reagenssi.

$$n(\mathrm{TiCl_4}) = \frac{m(\mathrm{TiCl_4})}{M(\mathrm{TiCl_4})} = \frac{35400\ \mathrm{g}}{189{,}69\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 186{,}62\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{Mg}) = \frac{m(\mathrm{Mg})}{M(\mathrm{Mg})} = \frac{8300\ \mathrm{g}}{24{,}31\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 341{,}42\ \mathrm{mol}$$

Reaktioyhtälön perusteella:

$n(\mathrm{TiCl_4}) = 0{,}5 \cdot n(\mathrm{Mg}) = 0{,}5 \cdot 341{,}42\ \mathrm{mol} = 170{,}71\ \mathrm{mol}$

eli kaikki titaanikloridi ei kulu reaktiossa, vaan Mg on rajoittava lähtöaine.

Reaktioyhtälön mukaan

$n(\mathrm{Ti}) = n(\mathrm{TiCl_4}) = 0{,}5 \cdot n(\mathrm{Mg}) = 170{,}71\ \mathrm{mol}$

$$m(\mathrm{Ti}) = n(\mathrm{Ti}) \cdot M(\mathrm{Ti}) = 170{,}71\ \mathrm{mol} \cdot 47{,}88\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 8174\ \mathrm{g} \approx 8{,}2\ \mathrm{kg}.$$

Vastaus: Titaania voidaan saada 8,2 kg.

32.

a) Reaktioyhtälöt ovat

$\mathrm{CaCO_3(s)} \rightarrow \mathrm{CaO(s)} + \mathrm{CO_2(g)}$

$\mathrm{MgCO_3(s)} \rightarrow \mathrm{MgO(s)} + \mathrm{CO_2(g)}$

b) Merkitään

$n_1 = n(\mathrm{CaCO_3})$

$n_2 = n(\mathrm{MgCO_3})$

$M_1 = M(\mathrm{CaCO_3}) = 100{,}09\ \mathrm{g/mol}$

$M_2 = M(\mathrm{MgCO_3}) = 84{,}32\ \mathrm{g/mol}$

$M_3 = M(\mathrm{CaO}) = 56{,}08\ \mathrm{g/mol}$

$M_4 = M(\mathrm{MgO}) = 40{,}31\ \mathrm{g/mol}$

$n_1 M_1 + n_2 M_2 = 0{,}876\ \mathrm{g}$

$n_1 M_3 + n_2 M_4 = 0{,}477\ \mathrm{g}$

Ratkaistaan ylemmästä yhtälöstä n_1 ja sijoitetaan sen lauseke alempaan yhtälöön, josta ratkaistaan n_2

$$n_2 = \frac{0{,}477 \cdot M_1 - 0{,}876 \cdot M_3}{M_1 \cdot M_4 - M_2 \cdot M_3} = 0{,}0019929\ \mathrm{mol}$$

$$m(\mathrm{MgCO_3}) = n \cdot M = 0{,}0019929\ \mathrm{mol} \cdot 84{,}32\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 0{,}16804\ \mathrm{g}$$

$$\frac{m(\mathrm{MgCO_3})}{m(\mathrm{seos})} = \frac{0{,}16804\ \mathrm{g}}{0{,}876\ \mathrm{g}} = 0{,}19183 \approx 19{,}1\ \%$$

Vastaus: Dolomiittikalkki sisälsi 19,1 massaprosenttia magnesiumkarbonaattia.

33.

a) Mangaanin hapetusluvun muutos on +II → +VII

Jodin hapetusluvun muutos on +VII → +V

Kerrotaan reaktioyhtälössä mangaaniatomin sisältävät hiukkaset kahdella ja jodiatomin sisältävät viidellä. Sen jälkeen tasapainotetaan vedyt.

$$2\ \mathrm{Mn^{2}} + 5\ \mathrm{IO_4^-} + 3\ \mathrm{H_2O} \rightarrow 2\ \mathrm{MnO_4^-} + 6\ \mathrm{H^+} + 5\ \mathrm{IO_3^-}$$

b) Oletetaan, että $V(\text{kantaliuos}) = 1\ \mathrm{dm^3}$

$$m\left[\mathrm{Mn(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O}\right] = 5{,}00\ \mathrm{g}$$

$$n\left[\mathrm{Mn(NO_3)_2 \cdot 4\ H2O}\right] = \frac{m}{M} = \frac{5{,}00\ \mathrm{g}}{(54{,}94 + 2 \cdot 14{,}01 + 10 \cdot 16{,}00 + 8 \cdot 1{,}008)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}}$$

$$\approx 0{,}0199184\ \mathrm{mol}$$

joten $c(\text{kantaliuos A}) \approx 0{,}0199184\ \mathrm{mol/dm^3} \approx 0{,}0199\ \mathrm{mol/dm^3}$.

Vastaus: Kantaliuoksen konsentraatio on 0,0199 $\mathrm{mol/dm^3}$.

c) Kantaliuoksessa

$$n(\mathrm{Mn}) \approx 2{,}21\ \mathrm{ml} \cdot 0{,}0199184\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \approx 0{,}0440197\ \mathrm{mmol}$$

$$m(\mathrm{Mn}) = n \cdot M \approx 0{,}0440197\ \mathrm{mmol} \cdot 54{,}94\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \approx 2{,}41844\ \mathrm{mg}$$

$$\frac{m(\mathrm{Mn})}{m\ \text{teräsnäyte}} \approx \frac{2{,}41844\ \mathrm{mg}}{0{,}203\ \mathrm{g}} \approx 0{,}011913 \approx 1{,}19\ \%$$

Vastaus: Teräksessä on 1,19 *m*-% mangaania.

d) Reaktioyhtälön mukaan $\mathrm{n}(IO_4^-) = 2{,}5 \cdot n(Mn^{2+}) = n(KIO_4)$

$$m(KIO_4) = n \cdot M \approx 2{,}5 \cdot 0{,}0440197\ \mathrm{mmol} \cdot (39{,}10 + 126{,}90 + 4 \cdot 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$

$$\approx 25{,}3113\ \mathrm{mg}$$

$$\approx 25{,}3\ \mathrm{mg}$$

Vastaus: Liuokseen tarvitsee lisätä vähintään 25,3 mg eli 0,0253 g kiinteää kaliumperjodaattia.

34.

Merkitään $m(\text{etanoli}) = x$ g. Tällöin

$$m(H_2O)_{\text{juoma}} = (10{,}00 - x)\ \mathrm{g}$$

$$m(H_2O)_{\text{kok}} = m(H_2O)_{\text{juoma}} + m(H_2O)_{\text{reaktiotuote}} = 10{,}77\ \mathrm{g}$$

$$n(H_2O)_{\text{reaktiotuote}} = 3 \cdot n(\text{etanoli})$$

$$m(H_2O)_{\text{reaktiotuote}} = 3 \cdot n(\text{etanoli}) \cdot M(H_2O)$$

Saadaan yhtälö

$$10\ \mathrm{g} - x\ \mathrm{g} + \frac{3x\ \mathrm{g}}{(2 \cdot 12{,}01 + 6 \cdot 1{,}008 + 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot (2 \cdot 1{,}008 + 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 10{,}77\ \mathrm{g}$$

josta saadaan

$$10\ \mathrm{g} - x\ \mathrm{g} + 1{,}173222\ x\ \mathrm{g} \approx 10{,}77\ \mathrm{g}$$

$$x \approx 4{,}445163\ \mathrm{g}$$

$$\frac{m(\text{etanoli})}{m(\text{juoma})} \approx 0{,}444516 \approx 44{,}45$$

Vastaus: Juoman alkoholipitoisuus oli 44,45 *m*-%.

35.

Reaktioyhtälö $2\ NaN_3(s) \rightarrow 2\ Na(s) + 3\ N_2(g)$

$$n(N_2) = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1{,}4\ \text{bar} \cdot 35\ \text{l}}{0{,}08315\ \frac{\text{bar} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298\ \text{K}} \approx 1{,}9775\ \text{mol}$$

$$n(NaN_3) = \frac{2}{3} \cdot n(N_2) \approx 1{,}3183\ \text{mol}$$

$$m(NaN_3) = n \cdot M = 1{,}3183\ \text{mol} \cdot (22{,}99 + 3 \cdot 14{,}01)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\approx 85{,}7159\ \text{g}$$

$$\approx 86\ \text{g}$$

Natriumatsidia tarvitaan 86 grammaa.

Reaktioyhtälö natriumin ja rauta(III)oksidin reaktiolle:

$6\ Na(s) + Fe_2O_3(s) \rightarrow 3\ Na_2O(s) + 2\ Fe(s)$.

36.

Reaktioyhtälöt:

$2\ CuFeS_2 \rightarrow Cu_2S + 2\ FeS + S$

$S + O_2 \rightarrow SO_2$

$2\ Cu_2S + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Cu_2O + 2\ SO_2$

$Cu_2S + 2\ Cu_2O \rightarrow 6\ Cu + SO_2$

Kuparin määrän ratkaisemiseksi tehdään kokonaisreaktioyhtälö. Reaktioiden tuotteena ja toisen reaktion lähtöaineena ovat S, Cu_2S ja Cu_2O, joiden määrät molemmilla puolilla reaktioita tasataan kertomalla ensimmäinen reaktioyhtälö kolmella ja toinen reaktioyhtälö kolmella:

$6\ CuFeS_2 \rightarrow 3\ Cu_2S + 6\ FeS + 3\ S$

$3\ S + 3\ O_2 \rightarrow 3\ SO_2$

$2\ Cu_2S + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Cu_2O + 2\ SO_2$

$Cu_2S + 2\ Cu_2O \rightarrow 6\ Cu + SO_2$

Laskemalla reaktioyhtälöt saadaan kokonaisreaktio

$6\ CuFeS_2 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ FeS + 6\ SO_2 + 6\ Cu$

josta nähdään, että

$n(Cu) = n(SO_2)$

$$
\begin{aligned}
V(\mathrm{SO_2}) &= n \cdot V_\mathrm{m} = \frac{m(\mathrm{Cu})}{M(\mathrm{Cu})} \cdot 22,41 \frac{\mathrm{dm^3}}{\mathrm{mol}} \\
&= \frac{1000\ \mathrm{g}}{63,55 \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot 22,41 \frac{\mathrm{dm^3}}{\mathrm{mol}} \\
&\approx 352,64\ \mathrm{dm^3} \\
&\approx 350\ \mathrm{dm^3}
\end{aligned}
$$

Vastaus: Rikkidioksidia syntyy 350 $\mathrm{dm^3}$.

3 Sähkökemia

Tehtävien 37–47 ratkaisut

37.

a) Sinkki on epäjalompi kuin kupari, joten sinkki hapettuu ja kupari pelkistyy.

$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

b) Reaktiota ei tapahdu, koska kupari on jalompi kuin sinkki, ja kupari on jo valmiiksi pelkistyneessä muodossa.

c) Magnesium on epäjalompi kuin sinkki, joten magnesium hapettuu ja sinkki pelkistyy.

$Mg(s) + Zn^{2+}(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + Zn(s)$

d) Lyijy on epäjalompi kuin hopea, joten lyijy hapettuu ja hopea pelkistyy.

$Pb(s) + 2\ Ag^{+}(aq) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + 2\ Ag(s)$

38.

a) Kuparin ja raudan välille muodostuu sähköpari, jossa elektrolyyttiliuoksena toimii vesi ja ilmankosteus. Koska rauta on kuparia epäjalompi, rauta hapettuu ja syöpyy.

b) Kun rautanaulat suojataan epäjalommalla sinkillä, ne kestävät paremmin korroosiota. Sinkityksessä rautanaulan pintaan muodostuu ohut kerros sinkkiä. Sinkki muodostaa pinnalleen tiiviin oksidikerroksen, joka estää metallia syöpymästä enempää.

c) Uhrimetalli on metalli, jota käytetään ehkäisemään sähkökemiallisen korroosion aiheuttamaa syöpymistä (vrt. b-kohta ja laivojen potkureiden syöpymisen ehkäisy esim. sinkillä). Uhrimetalli toimii anodina ja syöpyy vähitellen.

d) Pronssi sisältää kuparia, joka hapettuu ilman hapen vaikutuksesta, jolloin esineen pinnalle muodostuu vihertäviä kupariyhdisteitä, pääasiassa kuparikarbonaattia $CuCO_3$ ja kuparihydroksidia $Cu(OH)_2$, sisältävä kerros.

e) Auton akku latautuu ajettaessa autolla. Ajettaessa pakkasella auton akun virranvastaanottokyky on pienempi kuin lämpimällä ilmalla ja auton akku ei lyhyellä matkalla ehdi latautua tarpeeksi. Sen seurauksena akun lataus pienenee ja samalla akkuhapon rikkihappopitoisuus pienenee. Jos akun lataus pienenee liikaa, akusta saatava sähkövirta ei riitä auton käynnistämiseen.

39.

a) Reaktio on tasapainossa.

b) $3\ Mg(s) + 2\ Cr^{3+} \rightarrow 3\ Mg^{2+}(aq) + 2\ Cr(s)$

c) $2\ Li(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow 2\ Li^{+}(aq) + Cu(s)$

40.

a) Tarkastellaan metallien jännitesarjaa ja etsitään sieltä rauta ja magnesium. Jännitesarjassa epäjalompi metalli voi pelkistää jalomman metallin. Metalli, joka on rautaa epäjalompi, voi toimia pelkistimenä raudalle. Metallit, joka toimivat pelkistimenä Fe^{2+}-ioneille, mutta eivät Mg^{2+}-ioneille, ovat alumiini (Al), sinkki (Zn) ja kromi (Cr).

b) Sinkki ja kromi. Rautaioneja sisältävällä liuoksella voidaan hapettaa kaikki rautaa epäjalommat metallit. Alumiinia jalompia, mutta rautaa epäjalompia metalleja ovat sinkki ja kromi.

c) Epäjalot metallit hapettuvat luonnon olosuhteissa ja muodostavat yhdisteitä.

d) Jalon metallin pelkistymispotentiaali on positiivinen, epäjalon negatiivinen. Jalot metallit voivat esiintyä luonnossa vapaana alkuaineena.

41.

a–d)

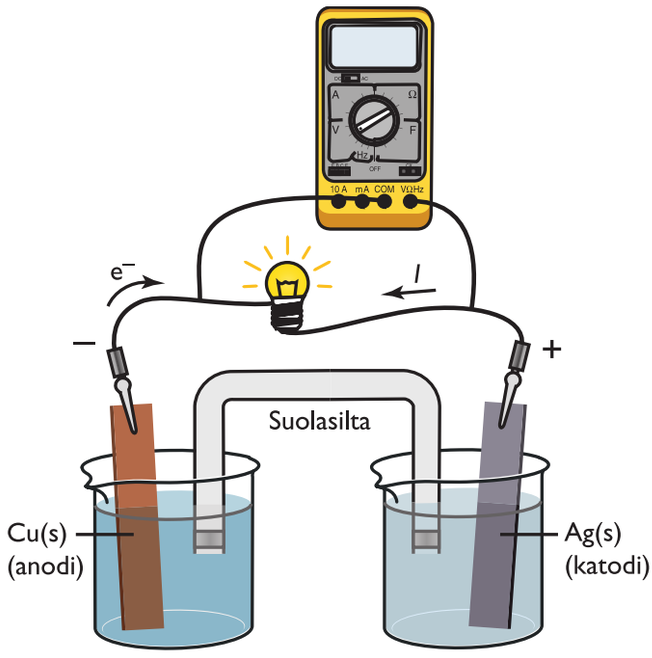
Jos epäjalompi metalli on alkuaineena ja jalompi metalli ionimuodossa, epäjalompi hapettuu ja jalompi pelkistyy liuoksesta metalliseksi. Jos epäjalompi metalli on kiinteänä (metallisena) liuoksessa, se alkaa liueta ja samalla metallinpala päällystyy jalommalla metallilla. Reaktiossa havaitaan myös muodostuvan kuplia, jotka ovat vetykaasua. Vetykaasua muodostuu sitä nopeammin, mitä kauempana toisistaan metallit ovat. Spontaanisti tapahtuvat reaktiot a ja d. Tapauksissa b ja c jalompi metalli on valmiiksi pelkistyneessä muodossa ja reaktiota ei tapahdu.

e) Paras hapetin on metalli, jonka pelkistymispotentiaali on mahdollisimman suuri. Luetelluista metalleista paras hapetin on lyijy (eli i).

f) Paras pelkistin on metalli, jonka pelkistymispotentiaali on mahdollisimman pieni. Luetelluista metalleista paras pelkistin on alumiini (eli iii).

42.

a)



b) Suolasillan tarkoitus on muodostaa suljettu virtapiiri elektrolyyttiliuosten välillä. Virrankuljettajina toimivat ionit. Suolasilta tasaa myös sähkövaruksia.

c) Kupari hapettuu, hopea pelkistyy.

d) hapettuminen $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ e^-$ $\quad E^0 = -0{,}34\ V$

pelkistyminen $2\ Ag^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow 2\ Ag(s)$ $\quad E^0 = +0{,}80\ V$

e) kokonaisreaktio $Cu(s) + 2\ Ag^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ Ag(s)$

kennojännite $E_{kenno} = E^0_{hapettuminen} - E^0_{pelkistyminen} = -0{,}34\ V + 0{,}80\ V = +0{,}46\ V$

eli reaktio tapahtuu spontaanisti.

43.

Jos metalli liukenee suolahappoon, se hapettuu ja pelkistää happoliuoksesta vetyionin. Pelkistymisreaktion seurauksena katodilla havaitaan muodostuvan vetykaasua. Tutkitaan normaalipotentiaaleja:

a) Kirjoitetaan sinkin hapettumisreaktio ja vedyn pelkistymisreaktio ja lasketaan parin kokonaisjännite:

$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$ $\quad E^0 = +0{,}76\ V$

$2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g)$ $\quad E^0 = +0{,}0V$ (vertailuelektrodi)

Koska kokonaisjännite $E_{kenno} = +0{,}76\ V > 0$, reaktio tapahtuu itsestään. Kokonaisreaktio:

$Zn(s) + 2\ H^+(aq) + 2\ Cl^-(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

b) $Pb(s) + 2\ e^- \rightarrow Pb^{2+}(aq)$ $\quad E^0 = +0{,}13$ V

$2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g)$ $\quad E^0 = +0{,}0$ V (vertailuelektrodi)

$Pb(s) + 2\ H^+(aq) + 2\ Cl^-(aq) \rightarrow PbCl_2(s, aq) + H_2(g)$

Kokonaisjännite $E_{kenno} = +0{,}13\ V > 0$, eli reaktio tapahtuu itsestään ja metallinen lyijy liukenee suolahappoon. Reaktio on kuitenkin hitaampi kuin sinkillä, koska kennon kokonaisjännite on pienempi.

c) $Ag(s) + e^- \rightarrow Ag^{2+}(aq)$ $\quad E^0 = -0{,}80$ V

$2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g)$ $\quad E^0 = +0{,}0$ V (vertailuelektrodi)

Kokonaisjännite $E_{kenno} = -0{,}80\ V < 0$, joten reaktio ei tapahdu spontaanisti. Hopea ei liukene suolahappoon.

44.

Nopeimmin korroosio tapahtuu suolavedessä (koeputkessa a), sillä suolavesi lisää korroosion nopeutta. Koeputkessa b kuivausaine imee ilman kosteuden ja korkin ansiosta ilman kosteutta tai happea ei pääse koeputkeen. Koeputkessa c keitetystä vedestä poistuu suuri osa veteen liuenneesta hapesta ja öljykerros estää hapen liukenemisen veteen uudelleen. Koeputkessa d rautanaulan ympärille kiedottu Mg-lanka estää rautanaulaa hapettumasta, eli Mg-lanka toimii uhrianodina. Hapettumista tapahtuu kuitenkin niillä alueilla, jotka eivät ole Mg-langan peitossa. Koeputkessa e kuparilanka muodostaa rautanaulan kanssa sähköparin ja rauta epäjalompana metallina hapettuu. Koeputkessa f olevan rautanaulan hapettumisreaktio riippuu ilman kosteudesta. Kuivassa huoneilmassa rautanaulan hapettumisreaktio on hyvin hidas.

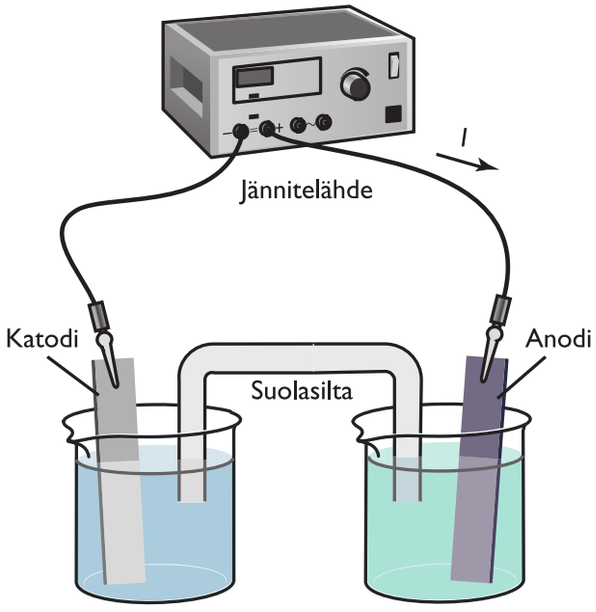
Korroosionopeus (nopein ensin): a, e, c, d, f, b.

45.

a) Anodi $\quad Ni(s) \rightarrow Ni^{2+}(aq) + 2\ e^-$ $\quad E^0 = +0{,}26$ V (hapettumiselle)

Katodi $\quad Cd^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cd(s)$ $\quad E^0 = -0{,}40$ V

b)



$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cd(s)$ $\quad$ $Ni(s) \longrightarrow Ni^{2+}(aq) + 2e^-$

c) $E_{kenno} = E_{pelkistyminen} + E_{hapettuminen} = -0{,}40\ V + 0{,}26\ V = -0{,}14\ V$

Vastaus: Jotta kenno toimisi, tarvitaan vähintään 0,14 V:n jännite. Käytännössä jännitteen on oltava tätä suurempi.

46.

a) Sulan kaliumbromidin elektrolyysissä muodostuu metallista kaliumia ja kaasumaista bromia.

b) Kaliumbromidi KBr hajoaa K^+- ja Br^--ioneiksi. Sulatesuolan elektrolyysissa kationi pelkistyy ja anioni hapettuu.

Anodilla tapahtuu hapettuminen: $2\ Br^-(l) \rightarrow Br_2(g) + 2\ e^-$

Katodilla tapahtuu pelkistyminen: $K^+(l) + e^- \rightarrow K(l)$

Kokonaisreaktio $2\ Br^-(aq) + 2\ K^+(aq) \rightarrow Br_2(l) + 2\ K(s)$

47.

a) Katodi $Mg^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Mg(s)$ $\quad E^0 = -2{,}37\ V$

Anodi $2\ Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2\ e^-$ $\quad E^0 = -1{,}36\ V$

$E^0 = -2{,}37\ V - 1{,}36\ V = -3{,}73\ V$. Tarvittava vähimmäisjännite on siis 3,73 V. Huomaa, että elektrolyysiin tarvitaan todellisuudessa suurempi jännite, koska laskettu jännite on teoreettinen minimijännite.

Vastaus: Tarvitaan vähintään 3,73 V:n jännite.

b) $m(\mathrm{Mg}) = 1{,}0\ \mathrm{g}$

$t = 1\ \mathrm{h} = 3\,600\ \mathrm{s}$

$z = 2$

$F = 96\,485\ \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{mol}}$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1{,}0\ \mathrm{g}}{24{,}31\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}0411353\ \mathrm{mol}$$

$$I \cdot t = n \cdot z \cdot F$$

$$I = \frac{n \cdot z \cdot F}{t} = \frac{0{,}0411353\ \mathrm{mol} \cdot 2 \cdot 96\,485\ \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{mol}}}{3\,600\ \mathrm{s}}$$

$$= 2{,}20496\ \mathrm{A}$$

$$\approx 2{,}2\ \mathrm{A}$$

Vastaus: Tarvitaan 2,2 A:n virta.

c) Magnesiumkloridin elektrolyysissä kloori hapettuu anodilla: kloridi-ionien (hapetusluku –I) reagoidessa keskenään ja muodostaessa kloorikaasua (hapetusluku 0).

3 Sähkökemia

Ylioppilas- ja pääsykoetehtävien 48–54 ratkaisut

48.

Katodireaktio: $PbSO_4 + 2\ e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$

Sähkövaraus: $Q = I \cdot t = 105\ \text{Ah} = 105 \cdot 60 \cdot 60\ \text{A} \cdot \text{s} = 378\,000\ \text{A} \cdot \text{s}$

Puolireaktiossa siirtyvien elektronien määrä: $z = 2$

Yhtälöstä $Q = I \cdot t = n \cdot z \cdot F$ voidaan ratkaista ainemäärä $n = \dfrac{I \cdot t}{z \cdot F}$.

Katodilla muodostuvan lyijyn massa

$$m = n \cdot M = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F} = \frac{378\,000\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot 207{,}2\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 96\,485\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}}$$

$$= 405{,}87\ \text{g}$$

$$\approx 406\ \text{g}.$$

Anodireaktio: $PbSO_4 + 2\ H_2O \rightarrow PbO_2 + 4\ H^+ + SO_4^{2-} + 2\ e^-$

Osareaktioiden perusteella $n(\text{Pb}) = n(PbO_2)$

Sähkövaraus: $Q = I \cdot t = 105\ \text{Ah} = 105 \cdot 60 \cdot 60\ \text{A} \cdot \text{s} = 378\,000\ \text{A} \cdot \text{s}$

Puolireaktiossa siirtyvien elektronien määrä: $z = 2$

Anodilla muodostuvan lyijyoksidin massa

$$m = n \cdot M = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F} = \frac{378\,000\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot (207{,}2 + 2 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 96\,485\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}}$$

$$= 468{,}56\ \text{g}$$

$$\approx 469\ \text{g}.$$

Vastaus: Kun akkuun ladataan 105 Ah:n varaus, syntyy katodilla 406 g metallista lyijyä ja anodilla 469 g lyijyoksidia.

49.

a) Metalleista epäjaloin on vahvin pelkistin. Tehtävänannosta voidaan päätellä, että

- M_1 ja M_3 ovat epäjaloja metalleja, koska ne reagoivat suolahapon kanssa vapauttaen vetyä, M_2 ja M_4 jaloja metalleja
- M_3 on neljästä metallista epäjaloin metalli, koska se toimii pelkistimenä metalleille M_1, M_2 ja M_4
- M_2 on jalompi kuin M_4, koska metalli M_2 pelkistyy liuoksesta, jos siihen lisätään metallia M_4. Metallii M_4 on vahvempi pelkistin kuin M_2.

Yllä olevan perusteella metallit pelkistymiskykynsä mukaisessa järjestyksessä (vahvin pelkistin ensin): M_3, M_1, M_4, M_2.

b) Kuivapareissa yleinen metalli voisi olla sinkki (Zn), alumiini (Al) on maankuoren yleisin metalli, pronssin ainesosia ovat kupari (Cu) ja tina (Sn), ohuita levyjä voidaan valmistaa kullasta.

Jaloja metalleja on kaksi, joten ne ovat kupari ja kulta. Epäjaloja metalleja on myös kaksi, joista toinen on alumiini ja toinen sinkki. Metallien järjestykseksi saadaan Al, Zn, Cu, Au.

c) Alumiinin oksidi on amfoteerinen, eli se voi toimia sekä happona että emäksenä. Alumiinioksidin reaktio natriumhydroksidin kanssa tuottaa natriumaluminaattia:

$$Al_2O_3(s) + 2\ NaOH(aq) + 3\ H_2O \rightarrow 2\ Al(OH)_4^-(aq) + 2\ Na^+(aq).$$

50.

Määrittele korroosio, esitä esimerkkejä korroosiosta sekä keinoja, miten korroosiota estetään.

Korroosio on ilmiö, jossa metalli hapettuu ympäristöolosuhteisen vaikutuksesta. Korroosion aiheuttajia ovat ilman happi, ilmankosteus, ilmassa olevat muut kaasut tai metallin kanssa kosketuksissa olevat liuokset.

Korroosioalttiutta voidaan arvioida metallien jännitesarjan avulla. Korroosiolle alttiimpia ovat epäjaloimmat metallit. Korroosioalttiutta määritettäessä pitää kuitenkin ottaa huomioon olosuhteet.

Metallien korroosio aiheuttaa metallien muuttumista käyttökelvottomaan muotoon. Taloudellisesti korroosio aiheuttaa suuria menetyksiä vuosittain, esimerkkinä raudan ruostuminen.

Otetaan korroosioesimerkiksi raudan ruostuminen. Ruostuessaan rauta hapettuu eli luovuttaa elektroneja. Raudan hapettuessa metallinen rauta muuttuu vesiliukoisiksi rautaioneiksi:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\ e^-.$$

Rauta ja kostea ilma, kostea maaperä tai vesi raudan pinnalla muodostavat sähkökemiallisen parin. Esimerkiksi happea sisältävä vesi voi pelkistyä:

$$O_2 + 2\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^-.$$

Korroosiossa muodostuu sähköinen virtapiiri, jossa elektrolyyttinä toimii vesi, ilman tai maaperän kosteus. Raudan korroosion edetessä rautaionit reagoivat myös hydroksidi-ionien kanssa muodostaen rautahydroksidia, $Fe(OH)_2$. Rautahydroksidi reagoi edelleen ilman hapen kanssa muodostaen rautaoksidia, Fe_2O_3, jota kutsutaan ruosteeksi.

Olosuhteet vaikuttavat oleellisesti korroosionopeuteen. Korkeampi lämpötila kasvattaa korroosionopeutta. Meri-ilmastossa on suoloja (klorideja) ja kaupunki-ilmastossa typen ja rikin oksideja, jotka nopeuttavat korroosiota. Veden ja maan alla olevissa rakennelmissa korroosionopeuteen vaikuttaa happipitoisuus. Myös virtaava vesi nopeuttaa korroosiota, koska se kuljettaa reaktiotuotteita pois ja tuo tilalle happea.

Jotkut metallit muodostavat suojaavan oksidikerroksen, joka estää metallia syöpymästä lisää. Tällaisia metalleja ovat esimerkiksi alumiini, kromi ja sinkki. Metallin sanotaan passivoituvan. Passivoitumista käytetään yleisesti korroosion estossa.

Kuparin pinnalle muodostuu ulkoilmassa vähitellen vihreä suojaava kerros, jota sanotaan patinaksi. Patina muodostuu kuparin reagoidessa ilman hiilidioksidin ja kosteuden kanssa muodostaen kuparikarbonaatti, -hydroksidi ja joissain tapauksissa myös -sulfidiyhdisteitä. Myös kuparia sisältävä pronssi patinoituu.

Metallien korroosiolta voidaan suojautua eri tavoin. Korroosiota ei voi estää, mutta sitä voi hidastaa seuraavilla toimenpiteillä:

- maalaamalla, lakkaamalla, öljyämällä tai hiomalla pinnat
- suojaamalla pinnat emalilla tai muovilla
- seostamalla metalleja; esimerkiksi ruostumatonta terästä valmistetaan lisäämällä rautaan kromia ja nikkeliä (18/10 teräs sisältää 18 kromia ja 10 % nikkeliä)
- passivoimalla metallin pinta oksidikerroksella; monien metallien pinnalle oksidikerros muodostuu itsestään, mutta se saadaan aikaiseksi myös sähkökemiallisesti (eloksointi) tai kemiallisesti (fosfatisointi)
- käyttämällä uhrimetallia: uhrimetallina toimii metallia epäjalompi metalli, usein sinkki tai magnesium; esim. teräksestä rakennetun laivan vedenalaiset osat voidaan suojata sinkillä
- pinnoittamalla metalli toisella metallilla, esimerkiksi rautanaulojen sinkitys (kuumasinkityksessä esine upotetaan sulaan sinkkiin, sähkösinkitykseksä sinkkikerros tehdään elektrolyyttisesti); päällystys voidaan tehdä myös muilla metalleilla, esimerkiksi kromilla, nikkelillä, tinalla, hopealla ja kullalla
- suunnittelemalla rakenteet mahdollisimman hyvin niin, että vesi ei jää seisomaan metallipinnoille.

51.

Tarkastele normaalipotentiaalitaulukkoa ja perustele metallien jalousjärjestys. Piirrä ja kerro galvaanisen kennon rakenne ja toiminta, ja kirjoita elektrodireaktiot.

Normaalipotentiaalitaulukon mukaan hopea on jaloin, sen jälkeen tulevat kupari ja lyijy. Sinkki on epäjaloin. Suurin mahdollinen jännite saadaan kun sähkökemialliseen kennoon valitaan näistä metalleista jaloin ja epäjaloin, eli hopea ja sinkki. Tällöin sähkökemiallisen kennon jännite on suurin.

Sähkökemiallinen kenno rakennetaan upottamalla hopealankaa (=hopeaelektrodi) hopeanitraattiliuokseen ja sinkkisauva sinkkinitraattiliuokseen. Metallielektrodit yhdistetään toisiinsa ulkoisella johtimella. Virtapiiri suljetaan yhdistämällä eri astioissa olevat elektrolyyttiliuokset keskenään suolasillalla. Suolasiltana voi toimia nesteellä täytetty lasiputki tai suodatinpaperi. Suolasillan tarkoitus on yhdistää virtapiiri ja tasata varauksia.

Kuvan kennosta voit katsoa esim. kirjan sivulta 46, korvaamalla s.46 kuparielektrodi hopeaelektrodilla ja kupari-ioniliuos hopeaioniliuoksella.

Anodilla sinkki epäjalompana hapettuu luovuttaen elektroneja hopealle. Sinkin luovuttamat elektronit kulkevat ulkoista johdinta pitkin katodille. Sinkin hapettuessa sinkki liukenee veteen ioneina. Hopeaionit pelkistyvät liuoksesta hopeaelektrodin pinnalle.

Elektrodireaktiot:

$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

Kokonaisreaktio:

$2\ Ag^+(aq) + Zn(s) \rightarrow 2\ Ag(s) + Zn^{2+}(aq)$

52.

a) Liuoksessa on vettä ja natriumsulfaattia. Anodilla tapahtuu hapettuminen, katodilla pelkistyminen. Tutkitaan, mitkä reaktiot ovat elektrodeilla mahdollisia.

Anodilla tapahtuu hapettuminen:

$2\ H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$ $\qquad E^0 = -1{,}23\ V$

$2\ SO_4^{2-}(aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}(aq) + 2\ e^-$ $\qquad E^0 = -2{,}01\ V$

Koska potentiaali sulfaatti-ionin SO_4^{2-} hapettumiselle on epäsuotuisa, voidaan todeta, että sulfaatti-ioni tekee liuoksen sähköä johtavaksi, mutta ei itse hapetu. Anodilla siis vesi hapettuu ja muodostuu happikaasua.

Katodilla tapahtuu pelkistyminen:

$2\ H_2O(l) + 2\ e^- \rightarrow 2\ OH^-(aq) + H_2(g)$ $\qquad E^0 = -0{,}83\ V$

$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$ $\qquad E^0 = -2{,}71\ V$

Näistä reaktioista tapahtuu positiivisempi eli vesi pelkistyy tuottaen vetykaasua. Natriumin pelkistymispotentiaali on niin pieni, että natrium ei missään olosuhteissa pelkisty vesiliuoksesta.

Anodi $\quad 2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- \qquad E^0 = -1{,}23\ V$

Katodi $\quad 2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow 2\,OH^-(aq) + H_2(g) \qquad E^0 = -0{,}83\ V$

Kokonaisreaktio saadaan kertomalla katodireaktio kahdella (tasataan siirtyvien elektronien lukumäärä) ja laskemalla anodi- ja katodireaktiot yhteen. Tällöin voidaan supistaa elektronit pois yhtälöstä. Samalla huomataan, että neljä vetyionia ja neljä hydroksidi-ionia muodostavat neljä vesimolekyyliä. Supistetaan vielä molemmilta puolen reaktioyhtälöä kaksi vesimolekyyliä pois ja saadaan kokonaisreaktio.

Anodi $\quad 2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$

Katodi $\quad 4\,H_2O(l) + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^-(aq) + 2\,H_2(g)$ Huom! Kerrottu kahdella.

Kokonaisreaktio $\quad 6\,H_2O(l) + 4\,e^- \rightarrow O_2(g) + 2\,H_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,OH^- + 4\,e^-$

$$\overset{2}{\cancel{6}}\,H_2O(l) + \cancel{4}\,\cancel{e^-} \rightarrow O_2(g) + 2\,H_2(g) + 4\,\cancel{H_2}O(l) + \cancel{4}\,\cancel{e^-}$$

$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 2\,H_2(g)$$

b) Natriumsulfaatin pitoisuus alussa on

$$\frac{10\ g}{10\ g + 100\ g} \cdot 100\,\% = 9{,}0901\,\%$$

Elektrolyysissä hajoaa vettä ja lopussa natriumsulfaatin pitoisuus on

$$\frac{10\ g}{10\ g + m(\text{vesi})} = 0{,}200$$

Ratkaisemalla yhtälö saadaan veden massaksi 40,0 g.

Vettä elektrolyysissä on hajonnut 100 g – 40,0 g = 60,0 g.

Veden ainemäärä

$$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{60{,}0\ g}{18{,}016\ \frac{g}{mol}} = 3{,}3304\ mol$$

Reaktioyhtälön mukaan 1 mol vettä vastaa kahden elektronimoolin siirtymää, $z = 2$. Ratkaistaan aika t yhtälöstä $I \cdot t = n \cdot z \cdot F$ ja sijoitetaan saadut arvot ja Faradayn vakio yhtälöön.

$$t = \frac{n \cdot z \cdot F}{I} = \frac{3{,}3304\ mol \cdot 2 \cdot 96\,485\ \frac{A \cdot s}{mol}}{4{,}00\ A}$$

$$= 160\,667\ s$$

$$\approx 44{,}6\ h$$

Vastaus: Elektrolyysi kestää 44,6 h.

53.

a) Lisätään reaktioyhtälön oikealle puolelle kromin kertoimeksi kaksi. Tarkastellaan hapetuslukuja. Kromaatti-ionissa kromin hapetusluku on VI ja kromiatomissa 0. Pelkistysreaktiossa siirtyy kuusi elektronia yhtä kromiatomia kohti eli 12 elektronia yhtä kromaatti-ionia kohti. Tasataan vedyt lisäämällä kerroin 14 vetyatomille. Tarkistetaan vielä, että varaukset tasoittuvat reaktioyhtälön vasemmalla puolella: (−2) + 14 +(−12) = 0 ok.

$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14\ H^+(aq) + 12\ e^- \rightarrow 2\ Cr(s) + 7\ H_2O(l)$

b) $V(\mathrm{Cr}) = A \cdot h = 0{,}25\ \mathrm{m}^2 \cdot 0{,}010 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m} = 2{,}5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}^3$

$$m(\mathrm{Cr}) = \rho \cdot V = 7{,}19 \cdot 10^6\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{dm}^3} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}^3 = 17{,}975\ \mathrm{g}$$

$$n(\mathrm{Cr}) = \frac{m(\mathrm{Cr})}{M(\mathrm{Cr})} = \frac{17{,}975\ \mathrm{g}}{52{,}00\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}346\ \mathrm{mol}$$

$Q = I \cdot t = n \cdot z \cdot F$

Siirtyvien elektronien lukumäärä $z = 6$.

$$t = \frac{z \cdot n \cdot F}{I} = \frac{6 \cdot 0{,}346\ \mathrm{mol} \cdot 96\,485\ \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{mol}}}{25\ \mathrm{A}} = 8012\ \mathrm{s}$$

$\approx 2{,}2\ \mathrm{h}$

Vastaus: Pinnoittaminen kestää 2,2 h.

c) Lasketaan ensin muodostuvan hapen moolimäärä ja sen jälkeen hapen tilavuus kaasujen yleisen tilanyhtälön avulla.

Anodireaktio: $2\ H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$

$$n(\mathrm{O_2}) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{25\ \mathrm{A} \cdot 8\,012\ \mathrm{s}}{4 \cdot 96\,485\ \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}519\ \mathrm{mol}$$

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, josta tilavuus V

$$V(\mathrm{O_2}) = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0{,}519\ \mathrm{mol} \cdot 8{,}314\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol \cdot K}} \cdot 298{,}15\ \mathrm{K}}{101\,325\ \mathrm{Pa}} = 12{,}7 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}^3$$

$\approx 13\ \mathrm{dm}^3$

Vastaus: Happea kehittyy 13 dm^3.

54.

a) $CuSO_4(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}$

Katodi: $Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cu(s) \quad | \cdot 2$

Anodi: $2\ H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$

Kokonaisreaktio: $2\ Cu^{2+}(aq) + 2\ H_2O(l) \rightarrow 2\ Cu(s) + O_2(g) + 4\ H^+(aq)$

b) $m(\mathrm{Cu}) = 1{,}00\ \mathrm{g}$

$$M(\mathrm{Cu}) = 63{,}54\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$

$$n(\mathrm{Cu}) = \frac{m(\mathrm{Cu})}{M(\mathrm{Cu})} = 0{,}01574\ \mathrm{mol}$$

$$Q = z \cdot n \cdot F$$

$$z = 2$$

$$Q = 2 \cdot 0{,}01574\ \mathrm{mol} \cdot 96\,485 \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{mol}} = 3\,037{,}3478\ \mathrm{A \cdot s}$$

$$\approx 3\,037\ \mathrm{A \cdot s}$$

Vastaus: Kennon läpi kulki 3 037 As:n sähkömäärä.

c) $$n(O_2) = \frac{n(\mathrm{Cu})}{2} = \frac{0{,}01574\ \mathrm{mol}}{2} = 0{,}00787\ \mathrm{mol}$$

tai

$$n(O_2) = \frac{Q}{z \cdot F}; \qquad z = 4$$

$$n(O_2) = \frac{3\,037\ \mathrm{A \cdot s}}{4 \cdot 96\,485 \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}00787\ \mathrm{mol}$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow$$

$$V(O_2) = \frac{n(O_2) \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0{,}00787\ \mathrm{mol} \cdot 8{,}3143 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K \cdot mol}} \cdot 293{,}15\ \mathrm{K}}{101 \cdot 10^3\ \mathrm{Pa}}$$

$$= 1{,}899 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^3}$$

$$\approx 190\ \mathrm{cm^3}$$

Yksikkötarkastelu:

$$\mathrm{J} = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}$$

$$\mathrm{Pa} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$$

$$\rightarrow \frac{\mathrm{mol} \cdot \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{K} \cdot \mathrm{mol}} \cdot \mathrm{K}}{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}} = \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}}{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{m}^2 = \mathrm{m}^3$$

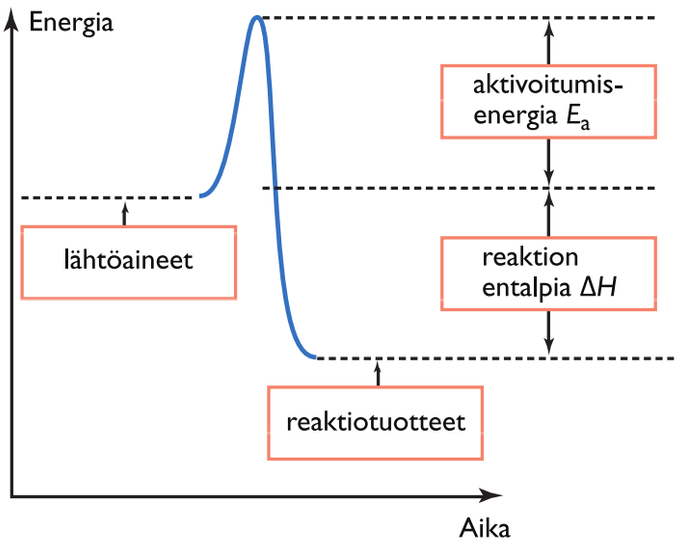
Vastaus: Happea kehittyi 190 cm^3.

4 Reaktion eteneminen ja tasapaino

Tehtävien 55–63 ratkaisut

55.

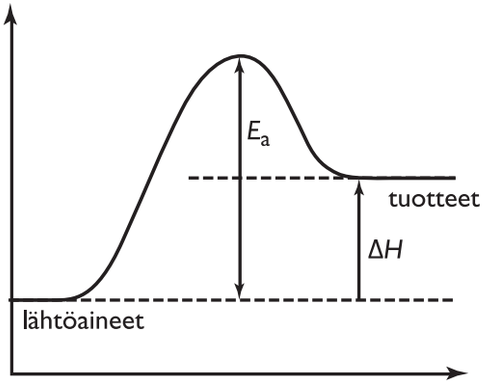
a)



b) Koska lähtöaineiden energia on korkeampi kuin reaktiotuotteiden, reaktio on eksoterminen eli lämpöä vapauttava.

c) Käänteisen reaktion reaktioentalpia on endoterminen.

d)



56.

a) Lämpötilan kasvaessa nopeiden hiukkasten osuus kasvaa, jolloin törmäysten todennäköisyys kasvaa. Tällöin yhä suurempi osa rakenneosien välisistä törmäyksistä johtaa aktivaatioenergian ylittymiseen ja sen myötä kemiallisen reaktion nopeus kasvaa.

b) Kuvaa tarkasteltaessa huomataan, että aktivoitumisenergia ilman katalyyttia on korkea ja tällöin reaktion nopeus on pieni. Kun reaktioon lisätään katalyyttiä, reaktio ohjautuu kulkemaan reittiä, jossa aktivoitumisenergia on pienempi. Tällöin suurempi osa rakenneosien törmäyksistä johtaa aktivaatioenergian ylittymiseen ja reaktion nopeuden kasvamiseen.

57.

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= \Delta H^\circ(\text{reaktiotuotteet}) - \Delta H_f^\circ(\text{lähtöaineet}) \\ &= (-1273 + 6 \cdot 0)\ \text{kJ} - (6 \cdot (-286) + 6 \cdot (-394))\ \text{kJ} \\ &= -1273\ \text{kJ} - (-4080)\ \text{kJ} \\ &= 2807\ \text{kJ}\end{aligned}$$

Reaktio on endoterminen, koska $\Delta H° > 0$.

58.

a) Reaktioseoksen lämpötilan kasvaessa tasapaino siirtyy endotermiseen suuntaan eli lähtöaineiden suuntaan.

b) Paineen kasvaessa reaktion tasapaino siirtyy suuntaan, jossa kaasumoolien lukumäärä on pienempi. Lähtöaineissa on neljä kaasumoolia ja tuotteissa kaksi, joten tasapaino siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan.

c) Jos ammoniakkia poistetaan reaktioseoksesta, tasapaino siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan, koska muutos pyritään minimoimaan.

d) Lämpötilan alentaminen siirtää reaktiota reaktiotuotteiden suuntaan, mutta samalla pienentää reaktionopeutta. Tämän takia teollisessa Haber-Bosch-prosessissa lämpötila pidetään niin korkeana kuin mahdollista. (Teollisuudessa Haber-Bosch-prosessin prosessilämpötila on noin 450 °C, paine 8–35 MPa ja reaktiossa käytetään katalyyttinä Fe_3O_4:ia.)

59.

a) Oikein. Dynaamisessa tasapainossa etenevän ja käänteisen reaktion nopeudet ovat samat.

b) Väärin. Katalyytti alentaa reaktion aktivoitumisenergiaa, mutta ei muuta tasapainoa.

c) Väärin. Dynaamisessa tasapainossa etenevä ja käänteinen reaktio tapahtuvat yhtä suurilla nopeuksilla. Lähtöaineita muuttuu tuotteiksi samalla nopeudella kuin tuotteita muuttuu takaisin lähtöaineiksi.

d) Väärin. Lähtöaineiden lisääminen tuottaa lisää reaktiotuotteita, mutta ei vaikuta tasapainovakion arvoon.

e) Oikein. Paineen alentaminen siirtää tasapainoa suuntaan, jossa kaasumoolien lukumäärä kasvaa.

f) Väärin. Tasapaino on aina riippuvainen lämpötilasta.

60.

a) Hessin lain mukaan reaktio voi edetä suoraan tai välivaiheiden kautta, mutta reaktioentalpia ei riipu valitusta reitistä. Hiili voi ensin muodostaa hiilimonoksidia ja sen jälkeen hiilidioksidia. Hiilimonoksidi on toisessa reaktiossa reaktiotuotteena ja toisessa lähtöaineena, joten se supistuu pois yhteenlaskussa.

$$\mathrm{C(s)} + \frac{1}{2}\,\mathrm{O_2(g)} \rightleftharpoons \mathrm{CO(g)} \qquad \Delta H = -110\ \mathrm{kJ}$$

$$\mathrm{CO(g)} + \frac{1}{2}\,\mathrm{O_2(g)} \rightleftharpoons \mathrm{CO_2(g)} \qquad \Delta H = -283\ \mathrm{kJ}$$

$$\mathrm{C(s)} + \mathrm{O_2(g)} \rightleftharpoons \mathrm{CO_2(g)} \qquad \Delta H = -110\ \mathrm{kJ} + (-283\ \mathrm{kJ}) = -393\ \mathrm{kJ}$$

Vastaus: Hiilidioksidin muodostumislämpö on –393 kJ.

b) Käänteisen reaktion reaktioentalpia on vastakkaismerkkinen. Kirjoitetaan butaanin muodostumisreaktio alemman reaktioyhtälön avulla ja lasketaan annetut reaktiot yhteen. Huomataan, että molemmissa reaktioissa on sama määrä hiilidioksidia ja vettä eri puolilla reaktionuolta, joten ne supistuvat pois.

$$4\,\mathrm{C(s)} + 5\,\mathrm{H_2(g)} + 6\frac{1}{2}\,\mathrm{O_2(g)} \rightarrow 4\,\mathrm{CO_2(g)} + 5\,\mathrm{H_2O(l)} \qquad \Delta H = -3002\ \mathrm{kJ}$$

$$4\,\mathrm{CO_2(g)} + 5\,\mathrm{H_2O(l)} \rightarrow \mathrm{C_4H_{10}(g)} + 6\frac{1}{2}\,\mathrm{O_2(g)} \qquad \Delta H = 2877\ \mathrm{kJ}$$

$$4\,\mathrm{C(s)} + 5\,\mathrm{H_2(g)} \rightarrow \mathrm{C_4H_{10}(g)} \qquad \Delta H = -3002\ \mathrm{kJ} + 2877\ \mathrm{kJ} = -125\ \mathrm{kJ}$$

Vastaus: Butaanin muodostumislämpö on –125 kJ.

61.

a) $\mathrm{CaF_2(s)} \rightleftharpoons \mathrm{Ca^{2+}(aq)} + 2\,\mathrm{F^-(aq)}$

	$\mathrm{Ca^{2+}(aq)}$	$2\,\mathrm{F^-(aq)}$
Alussa	0	0
Muutos	$+x$	$+2x$
Tasapainossa	$+x$	$+2x$

$$K_s = \left[Ca^{2+}\right] \cdot \left[F^-\right]^2 = 3{,}9 \cdot 10^{-11}$$

$$K_s = [x] \cdot [2x]^2 = 4x^3 = 3{,}9 \cdot 10^{-11}$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{3{,}9 \cdot 10^{-11}}{4}} = 2{,}13633 \cdot 10^{-4}$$

$$\left[Ca^{2+}\right] = 2{,}13633 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Kalsiumfluoridin liukoisuus on $2{,}13633 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 78{,}1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 1{,}7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}$.

Vastaus: Kalsiumfluoridia voi liueta veteen $1{,}7 \cdot 10^{-2}$ g/dm^3.

b) Natriumkloridin vesiliuos on neutraali, eikä yhteistä ionia ole, jotenCaF$_2$:n liukoisuus ei muutu.

c) Suolahappo on hapan. Kalsiumfluoridin liuetessa suolahappoon fluoridi-ioni muodostaa vetyfluoridia HF, joka on heikko happo. Fluoridi-ionien reagoidessa kalsiumfluoridia voi liueta lisää, joten CaF$_2$:n liukoisuus kasvaa.

$$CaF_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2\,F^-(aq)$$

$$F^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow HF(aq) + OH^-(aq)$$

d) NaF-liuoksessa on jo valmiiksi fluoridi-ionia, joten CaF$_2$:n liukoisuus pienenee.

62.

Laske ensin kylläisen bariumsulfaatin konsentraatio. Tarkastele sen jälkeen yhteisen ioni vaikutusta.

Kiinteän aineen konsentraatio ei muutu.

$$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

	$BaSO_4(s)$	$[Ba^{2+}(aq)]$	$[SO_4^{2-}(aq)]$
Alku (mol/dm^3)	–	0	0
Tasapaino (mol/dm^3)		x	x

$$K_s = \left[Ba^{2+}\right] \cdot \left[SO_4^{2-}\right] = x^2 = 1{,}5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{(\text{dm}^3)^2}$$

$$x = \sqrt{1{,}5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{(\text{dm}^3)^2}} = 3{,}87298 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Kylläisen bariumsulfaattiliuoksen konsentraatio vesiliuoksessa on $3{,}9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$.

Bariumsulfaatin moolimassa $M = (137{,}33 + 32{,}07 + 4 \cdot 16{,}00) \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 233{,}40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

Bariumhydroksidia liukenee $3{,}9 \cdot 10^{-5}\ \text{mol} \cdot 233{,}40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 9{,}1026 \cdot 10^{-3}\ \text{g}$ eli noin 9,1 mg litraan vettä.

Jos bariumsulfaattia liuotetaan natriumsulfaattiliuokseen Na_2SO_4 ($c = 0{,}020$ M), liuoksessa on jo valmiiksi sulfaatti-ioneja. Sulfaatti-ionin alkukonsentraatio on 0,020 mol/l ja lisäksi on huomioitava bariumsulfaatin liukenemisessa tulevien sulfaatti-ionien konsentraatio, joka on yhtä suuri kuin kylläisen liuoksen konsentraatio.

	$BaSO_4(s)$	$[Ba^{2+}(aq)]$	$[SO_4^{2-}(aq)]$
Alku (mol/dm^3)	–	0	0,020
Tasapaino (mol/dm^3)		x	$0{,}020 + x$

$$K_s = \left[\text{Ba}^{2+}\right] \cdot \left[\text{SO}_4^{2-}\right] = x \cdot (0{,}020 + x) = 1{,}5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{(\text{dm}^3)^2}$$

$$x^2 + 0{,}020x - 1{,}5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{(\text{dm}^3)^2} = 0$$

Toisen asteen yhtälön ratkaisuna saadaan

$x_1 = 7{,}49997 \cdot 10^{-8}$ ja

$x_2 = -0{,}02000$ (negatiivinen juuri hylätään).

Sulfaatti-ionien konsentraatio ei siis oleellisesti muutu, kun siihen lisätään bariumsulfaattia. Lasketaan bariumsulfaatin liuokoisuus 0,020 M natriumsulfaattiliuokseen.

$$K_s = \left[\text{Ba}^{2+}\right] \cdot \left[\text{SO}_4^{2-}\right] = \left[\text{Ba}^{2+}\right] \cdot (0{,}020 + 7{,}49997 \cdot 10^{-8}) \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 1{,}5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{(\text{dm}^3)^2},$$

josta $\left[\text{Ba}^{2+}\right] = 7{,}5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$.

Bariumsulfaattia liukenee $7{,}5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 233{,}4 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 18 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$ 0,020 M natriumsulfaattiliuokseen. Jos tulosta verrataan kylläiseen vesiliuokseen, bariumsulfaatin liukoisuus on vähentynyt merkittävästi.

Vastaus: Bariumsulfaatin liukoisuus on 18 µg/l.

63.

Kun hopeanitraattiliuosta lisätään vähitellen kalsiumkloridiliuokseen, saostuu hopeakloridia. Kalsiumkloridin liuetessa veteen syntyy yksi kalsiumioni ja kaksi kloridi-ionia.

$CaCl_2(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ Cl^-(aq)$

Hopeakloridin saostusreaktio:

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

Huomaa, että yhdessä kalsiumkloridimoolissa olevien kloridi-ionien saostamiseen tarvitaan kaksi moolia hopeanitraattia.

$V(CaCl_2) = 50{,}0\ \text{ml}$

$c(CaCl_2) = 0{,}15\ \text{M}$

$$n(CaCl_2) = c \cdot V = 50 \cdot 10^{-3}\ \text{l} \cdot 0{,}15\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} = 0{,}0075\ \text{mol}$$

$$n(Cl^-) = 2 \cdot n(CaCl_2) = n(AgCl) = 0{,}015\ \text{mol}$$

Jos kaikki kloridi-ionit saostuvat, hopeakloridia muodostuu 0,015 mol.

$$m(AgCl) = n(AgCl) \cdot M(AgCl) = 0{,}015\ \text{mol} \cdot (107{,}87 + 35{,}45)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$= 2{,}1498\ \text{g}$

$\approx 2{,}1\ \text{g}$

Vastaus: Hopeakloridia muodostuu 2,1 grammaa.

4 Reaktion eteneminen ja tasapaino

Ylioppilas- ja pääsykoetehtävien 64–74 ratkaisut

64.

a) Lyijy(II)kloridia sekoitetaan 0,75 g 100 millilitraan (100 g) vettä. Lämpötilassa 20 °C lyijy(II) kloridin liukoisuus veteen on 0,38 g lyijy(II)kloridia / 100 g vettä. Lämpötilassa 20 °C lyijy(II)kloridia jää liukenematta 0,75 g – 0,38 g = 0,37 g.

Vastaus: $PbCl_2$ jää liukenematta 0,37 g.

b) Lue kuvaajalta lämpötila, kun lyijy(II)kloridin liukoisuus on 0,75 g / 100 g vettä. Jotta kaikki lyijy(II)kloridi liukenisi, lämpötilan on oltava 56 °C.

Vastaus: Lämpötila tulee nostaa 56 °C:een.

c) Lyijykloridin liukoisuus 35 °C:ssa on 0,55 g / 100 g vettä.

$$n(PbCl_2) = \frac{m(PbCl_2)}{M(PbCl_2)} = \frac{0{,}55\ \text{g}}{278{,}1\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1{,}97771 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

Liukoisuus on $\frac{1{,}97771 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}}{100\ \text{ml}} = 0{,}020\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$.

Vastaus: 0,020 mol/l.

d) Lyijykloridin liukoisuustulo 20 °C:ssa: lyijykloridia liukenee 0,38 g / 100 g vettä (kuvaajalta).

$$n(PbCl_2) = \frac{m(PbCl_2)}{M(PbCl_2)} = \frac{0{,}38\ \text{g}}{278{,}1\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1{,}36641 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

$$c(PbCl_2) = 1{,}36641 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$K_s = \left[Pb^{2+}\right] \cdot \left[Cl^-\right]^2 = 1{,}36641 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot \left(2 \cdot 1{,}36641 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2$$

$$\approx 1{,}02 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}^3}{\text{l}^3}$$

Vastaus: $1{,}02 \cdot 10^{-5}\ \text{mol}^3/\text{l}^3$.

65.

a) Kohdassa, jossa liukoisuutta kuvaavat käyrät leikkaavat toisensa, on suolojen liukoisuus yhtä suuri. Kuvaajalta luettuna tämä on 23 °C.

b) Kuvaajalta luettuna kaliumnitraatin liukoisuus 40 °C:ssa on 64 g / 100 g vettä. Lasketaan suolan liukoisuus yksikössä mol/l. Oletetaan, että lisättäessä kaliumnitraattia liuoksen tilavuus ei muutu. Liuoksen tilavuus on siten 100 ml.

$$c(\mathrm{KNO_3}) = \frac{n(\mathrm{KNO_3})}{V} = \frac{\frac{m(\mathrm{KNO_3})}{M(\mathrm{KNO_3})}}{V} = \frac{\frac{64\ \mathrm{g}}{(39{,}10 + 14{,}01 + 3 \cdot 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}}}{0{,}10\ \mathrm{l}}$$

$$= 6{,}3297\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}$$

$$\approx 6{,}3\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}$$

Vastaus: Kaliumnitraatin liukoisuus lämpötilassa 40 °C on 6,3 mol/l.

c) Ammoniumkloridin ja kaliumnitraatin liukoisuus kasvaa lämpötilan kohotessa, joten liukenemisreaktio on endoterminen. Liuos jäähtyy lisättäessä suoloja veteen.

d) Ammoniumkloridin liuetessa veteen muodostuu NH_4^+- ja Cl^--ioneja. Ammoniumioni, joka on heikko happo, reagoi edelleen vesiliuoksessa tuottaen ammoniakkia ja oksoniumioneja.

$$\mathrm{NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)}$$

Liuoksessa esiintyviä ioneja ovat NH_4^+, Cl^-, H_3O^+ ja OH^- -ionit ja liuoksessa esiintyviä molekyylejä ovat NH_3 ja H_2O.

66.

a) Reaktio on ammoniakin valmistusreaktio typestä ja vedystä:

$$\mathrm{N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3(g)}\ .$$

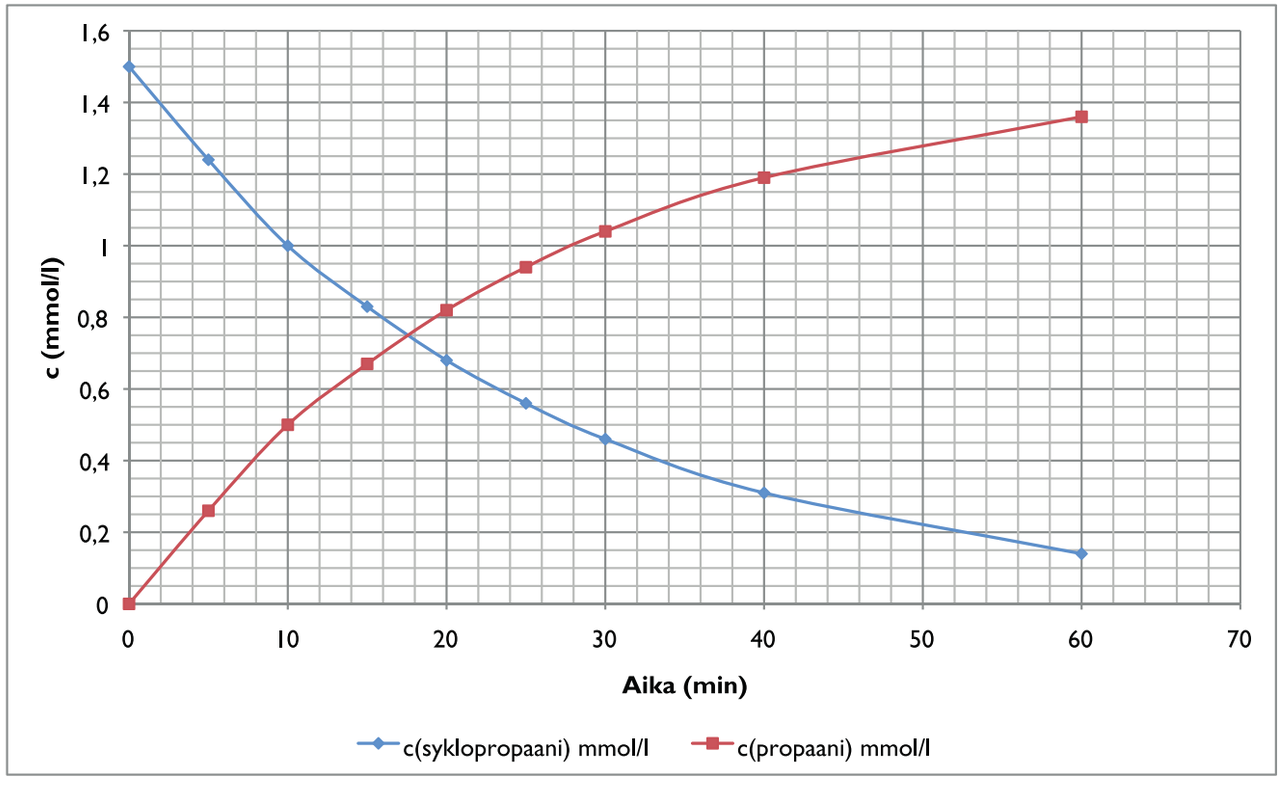
b) Alussa on lähtöaineita, vetykaasua ja typpikaasua, ja ammoniakin konsentraatio on nolla. Alkutilanteessa vetykaasua on noin kolme kertaa enemmän kuin typpikaasua. Reaktion edetessä lähtöaineiden määrät pienenevät ja alkaa muodostua ammoniakkia. Lähtöaineiden muuttuminen tuotteiksi hidastuu ja tietyn ajan kuluttua saavutetaan dynaaminen tasapaino. Tällöin lähtöaineita muuttuu tuotteiksi ja tuotteita lähtöaineiksi yhtä suurilla nopeuksilla. Kuvaajassa dynaaminen tasapaino havaitaan vaakasuorina kuvaajina.

c) Alkutilanteessa etenevän reaktion nopeus on suurimmillaan ja käänteisen reaktion nopeus nolla. Vähitellen etenevän reaktion nopeus pienenee ja käänteisen reaktion nopeus kasvaa reaktiotuotteiden muodostuessa. Lopulta saavutetaan tasapaino, jossa etenevä ja käänteinen reaktio tapahtuvat yhtä suurella nopeudella (= dynaaminen tasapaino).

67.

a) Kysessä on isomeroitumisreaktio, jossa rengasmainen syklopropaani muuttuu suoraketjuiseksi propeeniksi. Alkutilanteessa on vain syklopropaania. Kun syklopropaani muuttuu propeeniksi, sen konsentraatio pienenee ja propeenin pitoisuus vastaavasti kasvaa. Syklopropaanin ja propeenin yhteenlaskettu konsentraatio pysyy vakiona (= 1,5 mmol/l).

t (min)	*c*(syklopropaani) (mmol/l)	*c*(propeeni) (mmol/l)
0	1.5	0
5	1.24	0.26
10	1	0.5
15	0.83	0.67
20	0.68	0.82
25	0.56	0.94
30	0.46	1.04
40	0.31	1.19
60	0.14	1.36



b) Keskinopeus = konsentraation muutos / aika.

t (min)	c(syklopropaani) (mmol/l)	c(propeeni) (mmol/l)
0	1.5	0
5	1.24	0.26

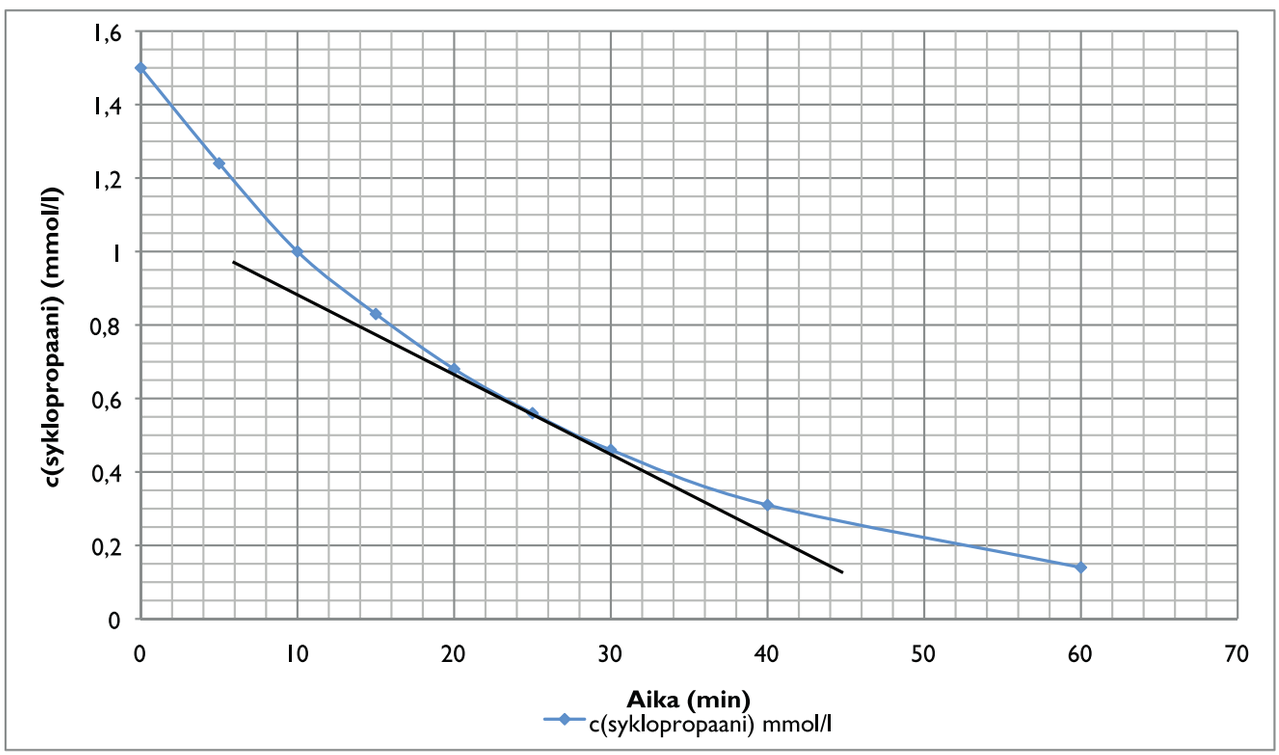
$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{1{,}24\,\frac{\text{mmol}}{\text{l}} - 1{,}5\,\frac{\text{mmol}}{\text{l}}}{5\ \text{min}} = -0{,}052\,\frac{\text{mmol}}{\text{l}\cdot\text{min}}$$

$$= -8{,}667\cdot 10^{-4}\,\frac{\text{mmol}}{\text{l}\cdot\text{s}}$$

$$\approx -8{,}7\cdot 10^{-7}\,\frac{\text{mol}}{\text{l}\cdot\text{s}}$$

Vastaus: Reaktion keskinopeus on $-8{,}7 \cdot 10^{-7}$ mol/(l · s). Reaktion nopeus pienenee, koska lähtöaineiden konsentraatio pienenee.

c) Reaktion nopeus hetkellä $t = 25$ min saadaan piirtämällä syklopropaanin kuvaajalle tangentti pisteeseen $t = 25$ min ja laskemalla tangentin kulmakerroin.



Tangentilta luettuna

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{(0{,}23 - 0{,}88)\cdot 10^{-3}\ \text{mol}}{(40-10)\ \text{min}\cdot\text{l}}$$

$$\approx -2{,}16667\cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{min}\cdot\text{l}} \approx -3{,}6\cdot 10^{-7}\ \frac{\text{mol}}{\text{s}\cdot\text{l}}.$$

Vastaus: Reaktion nopeus on n. $-3{,}6 \cdot 10^{-7}$ mol/(s · l). Negatiivinen etumerkki kertoo, että reaktionopeus pienenee.

d) Puoliintumisaika saadaan kun etsitään syklopropaanin kuvaajalta kohta, jossa syklopropaanikonsentraatio on 0,75 mmol/l.

Vastaus: Kuvaajalta luettuna puoliintumisajaksi saadaan 17,5 min.

68.

a) $AgNO_3$-ja NaCl-liuoksia sekoitetaan keskenään. Tutkitaan, saostuuko hopeakloridi liuoksesta. Lasketaan hopea- ja kloridi-ionien alkukonsentraatiot muodostuneessa liuoksessa. Huomaa, että liuoksen kokonaistilavuus on 30 ml. Muodostetaan ja lasketaan hopeakloridin ionitulo ja verrataan sitä hopeakloridin liukoisuustuloon.

Alkukonsentraatiot

$$\left[\text{Ag}^+\right] = \frac{n(\text{Ag}^+)}{V_{\text{kok}}} = \frac{c(\text{Ag}^+)\cdot V(\text{Ag}^+)}{V_{\text{kok}}} = \frac{0{,}0010\ \text{M}\cdot 15\ \text{ml}}{30\ \text{ml}} = 5{,}0\cdot 10^{-4}\ \text{M}$$

$$\left[\text{Cl}^-\right] = \frac{n(\text{Cl}^-)}{V_{\text{kok}}} = \frac{c(\text{Cl}^-)\cdot V(\text{Cl}^-)}{V_{\text{kok}}} = \frac{0{,}0010\ \text{M}\cdot 15\ \text{ml}}{30\ \text{ml}} = 5{,}0\cdot 10^{-4}\ \text{M}.$$

Ionitulo $Q = \left[\text{Ag}^+\right]\cdot\left[\text{Cl}^-\right] = \left(5{,}0\cdot 10^{-4}\,\text{M}\right)^2 = 2{,}5\cdot 10^{-7}\ \text{M}^2.$

Koska ionitulo $Q > K_L$, liuoksesta saostuu hopeakloridia.

b) Hopeakloridin liukenemisreaktio:

$$\text{AgCl(s)} \rightleftharpoons \text{Ag}^+\text{(aq)} + \text{Cl}^-\text{(aq)}$$

Tasapainon asetuttua kylläisessä liuoksessa on voimassa liukoisuustulo:

$$K_L(\text{AgCl}) = \left[\text{Ag}^+\right]\cdot\left[\text{Cl}^-\right] = 1{,}8\cdot 10^{-10}\ \text{M}^2$$

Alkutilanteessa hopeaionien ja kloridi-ionien ainemäärät ja konsentraatiot ovat samat. Saostumisreaktiossa reagoi yksi hopeaioni ja yksi kloridi-ioni. Tällöin hopeaionien ja kloridi-ionien konsentraatiot ovat samat myös saostuman muodostumisen jälkeen:

$$\left[\text{Ag}^+\right] = \left[\text{Cl}^-\right]$$

Merkitään

$$\left[\mathrm{Ag^+}\right] = \left[\mathrm{Cl^-}\right] = x$$

Liukoisuustulon yhtälö voidaan kirjoittaa muotoon

$K_\mathrm{L}(\mathrm{AgCl}) = \left[\mathrm{Ag^+}\right] \cdot \left[\mathrm{Cl^-}\right] = x^2 = 1{,}8 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{M}^2$, josta

$$x = \sqrt{1{,}8 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{M}^2}$$

$$\left[\mathrm{Ag^+}\right] = 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}$$

Liuoksen hopeaionipitoisuus voidaan myös ilmaista muodossa

$$\left[\mathrm{Ag^+}\right] = 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 107{,}87\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \approx 1{,}4 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}} = 1{,}4\ \frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{l}}.$$

Vastaus: Hopeaionin konsentraatio on $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ mol/l.

69.

a) Hopea-asetaatin liukenemisreaktio:

$$\mathrm{CH_3COOAg(s) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + Ag^+(aq)}$$

Kirjoitetaan hopea-asetaatin liukoisuustulo. Kylläisessä liuoksessa asetaatti-ionien ja hopea-ionien konsentraatiot ovat samat, joten niitä molempia voidaan merkitä laskuissa x:llä.

$$K_\mathrm{s}(\mathrm{CH_3COOAg}) = \left[\mathrm{CH_3COO^-}\right] \cdot \left[\mathrm{Ag^+}\right] = x \cdot x = x^2 = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^2, \text{ josta}$$

$$x = \sqrt{2{,}0 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^2} = 0{,}04472\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}$$

$$\left[\mathrm{CH_3COOAg}\right] = \left[\mathrm{CH_3COO^-}\right] = \left[\mathrm{Ag^+}\right] = 0{,}04472\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}.$$

Hopea-asetaatin liukoisuus veteen.

$$\text{Liukoisuus} = c(\mathrm{CH_3COOAg}) \cdot M$$

$$= 0{,}04472\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot (2 \cdot 12{,}01 + 3 \cdot 1{,}008 + 2 \cdot 16{,}00 + 107{,}87)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$

$$= 7{,}3380\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}$$

$$\approx 7{,}3\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}$$

Vastaus: Hopea-asetaatin liukoisuus on 7,3 g/l.

b) Hopea-asetaatin liuetessa veteen muodostuu asetaatti-ioni ja hopeaioni (ks. a-kohta). Asetaatti-ioni reagoi edelleen vesiliuoksessa:

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

Tarkastellaan hapon vaikutusta liuokoisuuteen le Châtelierin periaatteen avulla. Hapon vesiliuoksessa syntyy hapon anionia ja oksoniumioneja:

$$HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$$

Oksoniumionit reagoivat asetaatti-ionien kanssa tuottaen etikkahappoa:

$$CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

Etikkahappo on heikko happo, joka ei protolysoidu helposti H^+- ja CH_3COO^--ioneiksi. Hapon lisäys vähentää asetaatti-ionien konsentraatiota liuoksessa, joten le Châtelierin periaatteen mukaan systeemi yrittää kumota muutoksen eli tuottaa lisää asetaatti-ioneja liuokseen. Tällöin siis happamassa liuoksessa hopea-asetaatin liuokoisuus kasvaa.

c) Puskuriliuoksessa on 50,0 ml 0,10 M CH_3COOH:a ja 15 ml 0,20 M NaOH:a. Aluksi tapahtuu neutraloituminen.

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COONa(aq) + H_2O(l)$$

$$n(CH_3COOH)_{alku} = c(CH_3COOH) \cdot V(CH_3COOH) = 0{,}10\ \text{M} \cdot 50{,}0\ \text{ml} = 5{,}0\ \text{mmol}$$

$$n(NaOH)_{alku} = c(NaOH) \cdot V(NaOH) = 0{,}20\ \text{M} \cdot 15\ \text{ml} = 3{,}0\ \text{mmol}$$

Neutraloitumisen jälkeen $n(CH_3COO^-) = 3{,}0$ mmol.

Liuoksen kokonaistilavuus on 50,0 ml + 15 ml = 65 ml, joten asetaatti-ionien konsentraatio liuoksessa on

$$c(CH_3COO^-) = \frac{n(CH_3COO^-)}{V_{kok}} = \frac{3{,}0\ \text{mmol}}{65\ \text{ml}} = 0{,}0462\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}.$$

Sijoitetaan saatu konsentraatio hopea-asetaatin liukoisuustulon lausekkeeseen ja ratkaistaan hopeaionien konsentraatio.

$$K_s(CH_3COOAg) = \left[CH_3COO^-\right] \cdot \left[Ag^+\right] = 0{,}0462\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot \left[Ag^+\right] = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2$$

$$\Rightarrow \left[Ag^+\right] = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2}{0{,}0462\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = 0{,}04329\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

Lasketaan hopeanitraatin $AgNO_3$ liukoisuus 65 ml:aan puskuriliuosta:

$$\left[Ag^+\right] = 0{,}04329\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$\begin{aligned} n(AgNO_3) &= c(AgNO_3)\cdot V_{kok} = c(Ag^+)\cdot V_{kok} = 0{,}04329\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}\cdot 65\cdot 10^{-3}\ \text{l} \\ &= 2{,}8139\cdot 10^{-5}\ \text{mol} \\ &= 2{,}8139\ \text{mmol} \end{aligned}$$

Hopeanitraattia liukenee puskuriliuokseen:

$$\begin{aligned} m(AgNO_3) &= n(AgNO_3)\cdot M(AgNO_3) = 2{,}8139\cdot 10^{-5}\ \text{mol}\cdot(107{,}87+14{,}01+3\cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ &= 0{,}4780\ \text{g} \\ &\approx 480\ \text{mg} \end{aligned}$$

Vastaus: Hopeanitraattia liukenee 480 mg puskuriliuokseen.

70.

Tämä tehtävä on jokeritehtävä, joten se vaatii asian laajan käsittelyn. Malliratkaisussa on käyty läpi asioita, joita vastauksessa tulisi esiintyä, se ei ole täydellinen ratkaisu.

1.) Kemiallinen tasapaino

Kemiallisessa reaktion edetessä lähtöaineiden konsentraatio pienenee ja reaktiotuotteiden konsentraatio kasvaa. Alussa lähtöaineiden muuttuminen tuotteiksi on nopeaa, mutta hidastuu vähitellen, kun reaktiotuotteita muuttuu takaisin lähtöaineikseen. Jossain vaiheessa etenevä ja käänteinen reaktio tapahtuvat samalla nopeudella, jolloin on saavutettu tasapaino. Tätä tilaa, jossa lähtöaineet muuttuvat reaktiotuotteiksi ja reaktiotuotteet lähtöaineiksi samalla nopeudella, kutsutaan dynaamiseksi tasapainoksi. Kemiallinen tasapaino voi olla homogeeninen, jossa kaikki reaktioon osallistuvat aineet ovat samassa faasissa, tai heterogeeninen, jossa vähintään yksi reaktioon osallistuvista aineista on eri faasissa kuin muut.

2.) Reaktion tasapainovakio

Tasapainotilassa reaktiotuotteiden ja lähtöaineiden konsentraatioiden välillä on riippuvuus, jota kutsutaan massavaikutuksen laiksi. Kemiallisen reaktion $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ tasapainovakio on muotoa

$$K = \frac{\left[C\right]^c\cdot\left[D\right]^d}{\left[A\right]^a\cdot\left[B\right]^b},$$

missä A ja B ovat reaktion lähtöaineet, C ja D reaktiotuotteet ja a, b, c ja d reaktioyhtälön stoikiometriset kertoimet. Tasapainovakion yksikkö riippuu reaktiosta. Tasapainovakion arvo riippuu lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden tasapainokonsentraatioista, mutta ei alkukonsentraatioista. Tasapainovakion arvo riippuu lämpötilasta.

Kaksoisnuoli reaktioyhtälössä kertoo, että reaktio voi tapahtua molempiin suuntiin. Tasapainovakio lauseke on kirjoitettu etenevälle reaktiolle. Tasapainovakion arvosta voidaan päätellä reaktion etenemistä. Mitä suurempi K on, sitä enemmän tasapaino on reaktiotuotteiden puolella. Jos K on hyvin pieni, reaktion tasapaino on lähtöaineiden puolella.

Tasapainovakio ei kerro reaktion nopeutta, osa reaktioista saavuttaa tasapainon nopeasti, joissakin reaktiossa tasapainon saavuttaminen vie pitkään.

3.) Tehtävässä pitää antaa esimerkkejä tasapainoreaktioista. Niitä ovat esimerkiksi

- ammoniakkisynteesi $N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3(g)$
- rikkidioksidin hapetus rikkitrioksidiksi $2\,SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\,SO_3(g)$
- monet esteröitymisreaktiot.

4.) Kemiallisen reaktion kulkuun voidaan vaikuttaa muuttamalla lämpötilaa tai painetta ja vähentämällä tai lisäämällä reaktioon osallistuvia aineita. Reaktion tasapaino asettuu le Châtelierin periaatteen mukaisesti. Le Châtelierin periaatteen mukaan reaktion tasapaino asettuu niin, että se pyrkii kumoamaan systeemin aiheutetun muutoksen.

Jos reaktio on eksoterminen, lämpötilan nostaminen siirtää tasapainoa lähtöaineiden suuntaan. Jos reaktio on endoterminen, lämpötilan nostaminen siirtää tasapainoa reaktiotuotteiden suuntaan.

Kaasumaisten aineiden reagoidessa paineen lisäys siirtää tasapainoa suuntaan, jossa kaasumoolien lukumäärä on pienempi. Vastaavasti paineen alentaminen siirtää tasapainoa suuntaan, jossa kaasumoolien lukumäärä on suurempi.

Jos reaktioseokseen lisätään lähtöainetta, systeemi pyrkii vähentämään lähtöaineiden lisäystä tuottamalla enemmän reaktiotuotteita. Samoin käy, jos reaktiotuotetta poistetaan reaktioseoksesta.

Le Châtelierin periaatteen avulla on mahdollista ohjata reaktion kulkua ja löytää optimaaliset olosuhteet esimerkiksi teolliseen ammoniakkisynteesiin.

5.) Katalyyttiä käyttämällä voidaan nopeuttaa tasapainon saavuttamista. Katalyytti ei kuitenkaan vaikuta tasapainovakion arvoon.

71.

a) Reaktio on endoterminen, koska lämpötilan kohotessa reaktion tasapaino siirtyy reaktiotuotteisiin. Tämä voidaan päätellä le Châtelierin periaatten avulla, jonka mukaan lämpötilan kohottaminen siirtää reaktion tasapainoa endotermiseen suuntaan.

b) Kijoitetaan reaktiolle $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\,NO_2(g)$ tasapainovakion lauseke.

Tasapainovakio $K = \dfrac{[NO_2]^2}{N_2O_4}$.

Lasketaan tasapainokonsentraatiot. Kirjataan tunnetut arvot taulukkoon ja merkitään tuntematonta x:llä. Huomaa, että konsentraatio saadaan jakamalla ainemäärä (esim. 0,0240 mol) tilavuudella (reaktioastian tilavuus 0,372 litraa).

	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$
Alussa	$\frac{0,0240}{0,372}$	0
Muutos	$\frac{-x}{0,372}$	$\frac{+2x}{0,372}$
Tasapainossa	$\frac{0,0240-x}{0,372}$	$\frac{2x}{0,372}$

Sijoitetaan saadut tasapainokonsentraatiot tasapainovakion lausekkeeseen ja merkitään yhtä suureksi kokeellisesti mitatun tasapainovakion arvon kanssa.

$$K = \frac{[NO_2]^2}{N_2O_4} = \left(\frac{2x}{0,372}\right)^2 \cdot \frac{0,372}{0,0240-x} = \frac{4x^2}{0,372 \cdot (0,0240-x)} = 4,61 \cdot 10^{-3}$$

Sievennetään yhtälö muotoon

$$4x^2 + 1,54752 \cdot 10^{-3}\, x - 4,11580 \cdot 10^{-5} = 0$$

$$x_1 = 3,0201 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$x_2 = -3,4070 \cdot 10^{3} \text{ mol}$$ (negatiivinen juuri hylätään, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen)

Alussa dityppitetraoksidia oli 0,0240 mol,
tasapainossa $0,0240 \text{ mol} - 3,0201 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,0209799 \text{ mol}$.
Näin ollen dityppitetraoksidia on dissosioitunut

$$\frac{3,0201 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0240 \text{ mol}} \cdot 100\% \approx 12,5\ \%.$$

Vastaus: Dityppitetraoksidista dissosioituu typpidioksidiksi 12,5 %.

c) Lasketaan ensin kaasujen keskimääräinen moolimassa.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\Rightarrow p \cdot V = n \cdot R \cdot T = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T = \frac{\rho \cdot V}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\Rightarrow M_{keskim.} = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0,832 \cdot 10^3 \ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 8,31451 \ \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 308,15 \text{ K}}{0,309 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 68,986 \ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Yksikkötarkastelu: J = Nm, Pa = N/m^2.

Lasketaan seoksen mooliosuudet. Alussa N_2O_4:n mooliosuus on 1. Kun reaktio tapahtuu, osa N_2O_4-molekyyleistä dissosioituu NO_2-molekyyleiksi (merkitään mooliosuutta x:llä), jolloin N_2O_4:n mooliosuus on $(1-x)$.

$$(1-x)\cdot M(N_2O_4)+x\cdot M(NO_2)=68{,}986\ \frac{g}{mol}$$

$$M(N_2O_4)=(2\cdot 14{,}01+4\cdot 16{,}00)\ \frac{g}{mol}=92{,}02\ \frac{g}{mol}$$

$$M(NO_2)=(14{,}01+2\cdot 16{,}00)\ \frac{g}{mol}=46{,}01\ \frac{g}{mol}$$

$$\Rightarrow \quad (1-x)\cdot 92{,}02\ \frac{g}{mol}+x\cdot 46{,}01\ \frac{g}{mol}=68{,}986\ \frac{g}{mol}$$

$$46{,}01\cdot x=23{,}034$$

$$x=\frac{23{,}034}{46{,}01}=0{,}5006\approx 0{,}50$$

Kaasuseoksessa on siis yhtä paljon dityppitetraoksidia ja typpidioksidia. Lasketaan vielä dissosioitumisaste. Alussa N_2O_4:ia on n moolia. Kun N_2O_4:n ainemäärä muutuu y:n verran, NO_2:ia syntyy $2y$:n verran.

	$n(N_2O_4)$	$n(NO_2)$
Alussa	n	0
Muutos	$-y$	$+2y$
tasapainossa	$n-y$	$2y$

Tasapainossa $n-y=2y$ eli $n=3y$.

Dissosioitumisaste = $\frac{y}{3y}\cdot 100\ \% \approx 33{,}3\ \%$.

Vastaus: Dityppitetraoksidin dissosioitumisaste on 33,3 %.

72.

a) Kirjoitetaan ensin lyijysulfaatin liukenemisreaktio ja liukoisuustulo.

$PbSO_4(s) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

	$PbSO_4$	Pb^{2+}	SO_4^{2-}
Alussa	Kaikki kiinteänä	0	0
Tasapainossa	Liukenee x	x	x

Liukoisuustulo

$K_s = \left[Pb^{2+} \right] \cdot \left[SO_4^{2-} \right] = x^2 = 1{,}3 \cdot 10^{-8} \frac{mol^2}{dm^6}$, josta

$x = 1{,}1402 \cdot 10^{-4} \frac{mol}{dm^3}$.

200 millilitraan vettä liukenee $0{,}200\ dm^3 \cdot 1{,}1402 \cdot 10^{-4} \frac{mol}{dm^3} = 2{,}2804 \cdot 10^{-5}$ mol lyijysulfaattia.

Lasketaan vielä lyijysulfaatin massa.

$$m(PbSO_4) = n(PbSO_4) \cdot M(PbSO_4) = 2{,}2804 \cdot 10^{-5}\ mol \cdot 303{,}27 \frac{g}{mol}$$
$$= 6{,}9156 \cdot 10^{-3}\ g$$
$$\approx 0{,}00692\ g$$

Lyijysulfaattia liukenee veteen $\frac{0{,}00692\ g}{0{,}303\ g} \cdot 100\ \% \approx 2{,}3\ \%$.

Vastaus: Lyijysulfaatista liukenee 2,3 %.

b) Jos pesuvetenä on ammoniumsulfaattiliuos, on yhdisteillä yhteinen ioni, joka vaikuttaa liukoisuuteen. Kirjataan konsentraatiot taulukkoon ja muodostetaan yhtälö. Ammoniumsulfaatin liukenemisreaktio:

$(NH_4)_2SO_4(aq) \rightarrow 2\ NH_4^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

Ammoniumsulfaatti on runsasliukoinen suola. Yhteisenä ionina liuoksessa toimii sulfaatti-ioni, jonka konsentraatio $\left[SO_4^{2-} \right] = \left[(NH_4)_2SO_4 \right] = 0{,}100 \frac{mol}{dm^3}$. Taulukoidaan konsentraatiot ja kirjoitetaan liukoisuustulo.

	$PbSO_4$	Pb^2	SO_4^{2-}
Alussa	Kaikki kiinteänä	0	0,100
Tasapainossa	Liukenee x	x	$x + 0{,}100$

$K_s = \left[Pb^{2+} \right] \cdot \left[SO_4^{2-} \right] = x \cdot (x + 0{,}100) = 1{,}3 \cdot 10^{-8} \frac{mol^2}{dm^6}$

$x^2 + 0{,}100x - 1{,}3 \cdot 10^{-8} = 0$

$x_1 = 1{,}299 \cdot 10^{-7}$

$x_2 = -0{,}1000$ (negatiivinen juuri hylätään, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen)

$\Rightarrow \left[Pb^{2+} \right] = \left[SO_4^{2-} \right] = 1{,}299 \cdot 10^{-7} \frac{mol}{l}$

Lyijysulfaatin liukoisuus 0,100 M ammoniumsulfaattiliuokseen:

200 millilitraan ammoniumsulfaattia liukenee

$0{,}200\ \text{l} \cdot 1{,}299 \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} = 2{,}598 \cdot 10^{-8}\ \text{mol}$ lyijysulfaattia.

Liuenneen lyijysulfaatin massa:

$m(\text{PbSO}_4) = n(\text{PbSO}_4) \cdot M(\text{PbSO}_4) = 2{,}598 \cdot 10^{-8}\ \text{mol} \cdot 303{,}27\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 7{,}879 \cdot 10^{-6}\ \text{g}$

Lyijysulfaattia liukenee veteen $\frac{7{,}879 \cdot 10^{-6}\ \text{g}}{0{,}303\ \text{g}} \cdot 100\ \% \approx 0{,}003\ \%$.

Vastaus: Lyijysulfaatista liukenee 0,003 %.

73.

a) Kysytty reaktiolämpö saadaan yhdistämällä sopivasti annetut reaktiot. Reaktio (1) käännetään eli kerrotaan luvulla –1, reaktio (2) jaetaan kahdella ja reaktio (3) kerrotaan kolmella.

(1) $N_2H_4(l) + H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)$ $\quad \Delta H = 142\ \text{kJ} \quad | \cdot (-1)$

(2) $2\ N_2(g) + 6\ H_2O(l) \rightarrow 4\ NH_3(g) + 3\ O_2(g)$ $\quad \Delta H = 1523\ \text{kJ} \quad | : 2$

(3) $H_2(g) + ½\ O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -285\ \text{kJ} \quad | \cdot 3$

(1) $2\ NH_3(g) \rightarrow N_2H_4(l) + H_2(g)$ $\quad \Delta H = -142\ \text{kJ}$

(2) $1\ N_2(g) + 3\ H_2O(l) \rightarrow 2\ NH_3(g) + 1½\ O_2(g)$ $\quad \Delta H = 1523\ \text{kJ} : 2 = 761{,}5\ \text{kJ}$

(3) $3\ H_2(g) + 1½\ O_2(g) \rightarrow 3\ H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -285\ \text{kJ} \cdot 3 = -855\ \text{kJ}$

$N_2(g) + 2\ H_2(g) \rightarrow N_2H_4(l)$

$\Delta H = -142\ \text{kJ} + 761{,}5\ \text{kJ} - 855\ \text{kJ} = -235{,}5\ \text{kJ} = 236\ \text{kJ}$.

Vastaus: Reaktiolämpö on 236 kJ.

b) 1) $N_2H_4(l) + O_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2\ H_2O(g)$

$$\Delta H_1 = \left[1 \cdot \Delta H_f^\circ\left(\text{N(g)}\right) + 2 \cdot \Delta H_f^\circ\left(\text{H}_2\text{O(g)}\right)\right] - \left[1 \cdot \Delta H_f^\circ\left(\text{N}_2\text{H}_4\text{(l)}\right) + 1 \cdot \Delta H_f^\circ\left(\text{O}_2\text{(g)}\right)\right]$$

$$= \left[0 + 2 \cdot (-242{,}0) - 50{,}2 - 0\right] \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$= -534{,}2\ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{N}_2\text{H}_4) = 32{,}052\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Yhden hydratsiinimoolin (N_2H_4-moolin) massa

$$= 1\ \text{mol} \cdot 32{,}052\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 32{,}052\ \text{g}$$
$$= 0{,}032052\ \text{kg}.$$

Hydratsiinikilogrammaa kohden lämpöä vapautuu

$$\frac{-534{,}2\ \text{kJ}}{0{,}032052\ \text{kg}} = -16{,}7\ \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

Vastaus: Lämpöä vapautuu −16,7 MJ/kg.

2) $N_2H_4(l) + N_2O_4(l) \rightarrow 3\ N_2(g) + 4\ H_2O(g)$

$$\Delta H_2 = \left[3 \cdot \Delta H_f^\circ\left(N_2(g)\right) + 4 \cdot \Delta H_f^\circ\left(H_2O(g)\right)\right] - \left[2 \cdot \Delta H_f^\circ\left(N_2H_4(l)\right) + 1 \cdot \Delta H_f^\circ\left(N_2O_4(l)\right)\right]$$
$$= \frac{\left[0 + 4 \cdot (-242{,}0) - 2 \cdot 50{,}2 - 1 \cdot 51{,}9\right]\text{kJ}}{2\ \text{mol}}$$
$$= \frac{-1120{,}3\ \text{kJ}}{2\ \text{mol}}$$
$$= -560{,}15\ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Hydratsiinikilogrammaa kohden lämpöä vapautuu

$$\frac{-560{,}15\ \text{kJ}}{0{,}032052\ \text{kg}} = -17{,}5\ \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}.$$

Vastaus: Lämpöä vapautuu −17,5 MJ/kg.

74.

a) Kirjoita tasapainovakion lauseke ja sijoita tasapainokonsentraatiot tasapainovakion lausekkeeseen.

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \cdot [I_2]} = \frac{\left(0{,}490\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}\right)^2}{0{,}080\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 0{,}060\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}} = 50{,}021 \approx 50.$$

Vastaus: Tasapainovakion arvo on 50.

b) Le Châtelierin periaatteen mukaisesti systeemi pyrkii minimoimaan ulkoisen häiriön. Jos reaktioastiaan lisätään vetyjodidikaasua, systeemi pyrkii kumoamaan muutoksen eli tasapaino siirtyy lähtöaineiden suuntaan.

c) Taulukoidaan tasapainokonsentraatiot, vetyjodidin lisäys ja lasketaan uudet alkukonsentraatiot. Kun vetyjodidia lisätään reaktioseokseen, lähtötuotteiden määrä kasvaa (merkitään $+x$) ja vetyjodidin määrä pienenee (merkitään $-2x$), vrt. b-kohta. Koska lämpötila pysyy samana, tasapainovakion arvo ei muutu. Tämän avulla voidaan ratkaista uudet tasapainokonsentraatiot.

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\,HI(g)$$

	$H_2(g)$	$I_2(g)$	2 HI(g)
Tasapaino alussa (mol/dm^3)	0,080	0,060	0,490
Lisäys (mol/dm^3)	0	0	+0,300
Uudet alkukonsentraatiot (mol/dm^3)	0,080	0,060	0,790
Muutos (mol/dm^3)	$+x$	$+x$	$-2x$
Tasapainossa (mol/dm^3)	$0{,}080 + x$	$0{,}060 + x$	$0{,}790 - 2x$

Jätetään yksiköt pois tasapainovakion lausekkeesta selvyyden takia.

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{(0{,}790 - 2x)^2}{(0{,}080 + x)\cdot(0{,}060 + x)} = 50{,}021$$

Sieventämällä saadaan yhtälö:

$$46{,}021x^2 + 10{,}16294x - 0{,}3839992 = 0$$

Kun toisen asteen yhtälön parametrit sijoitetaan graafiseen laskimeen tai ratkaistaan yhtälö toisen asteen yhtälön ratkaisukaavalla, saadaan ratkaisuksi

$x_1 = 0{,}03289$ ja

$x_2 = -0{,}2537$ (konsentraatio ei voi olla negatiivinen, x_2 hylätään).

Lasketaan uudet tasapainokonsentraatiot:

$$[H_2] = (0{,}080 + 0{,}03289)\,\frac{mol}{dm^3} = 0{,}11289\,\frac{mol}{dm^3} \approx 0{,}113\,\frac{mol}{dm^3}$$

$$[I_2] = (0{,}060 + 0{,}03289)\,\frac{mol}{dm^3} = 0{,}09289\,\frac{mol}{dm^3} \approx 0{,}093\,\frac{mol}{dm^3}$$

$$[HI] = (0{,}790 - 2\cdot 0{,}03289)\,\frac{mol}{dm^3} = 0{,}72422\,\frac{mol}{dm^3} \approx 0{,}724\,\frac{mol}{dm^3}$$

Vastaus: Kaasujen uudet konsentraatiot ovat H_2-kaasulle 0,113 mol/dm^3, I_2-kaasulle 0,093 mol/dm^3 ja HI-kaasulle 0,724 mol/dm^3.

5 Happo-emästasapaino

Tehtävien 75–84 ratkaisut

75.

a) Vesi voi toimia sekä happona että emäksenä samanaikaisesti:

$$H_2O(l) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$$

Reaktion tasapainovakio voidaan kirjoittaa muotoon:

$$K = \frac{\left[H_3O^+\right] \cdot \left[OH^-\right]}{\left[H_2O\right]}$$

Koska vettä on ylimäärin, voidaan olettaa, ettei veden konsentraatio juurikaan muutu reaktiossa. Näin tasapainovakion lauseke saadaan muotoon:

$$K_w = K \cdot \left[H_2O\right] = \left[H_3O^+\right] \cdot \left[OH^-\right]$$

Ionitulon arvo 25 °C lämpötilassa on $1{,}008 \cdot 10^{-14}\,(\text{mol/dm}^3)^2$. Puhtaassa vedessä oksonium- ja hydroksidi-ionien konsentraatiot ovat samat.

b) $1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \text{mol/dm}^3 \cdot K_b = 1{,}008 \cdot 10^{-14}\,(\text{mol/dm}^3)^2$

$$K_b = \frac{1{,}008 \cdot 10^{-14}\,(\text{mol/dm}^3)^2}{1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \text{mol/dm}^3} = 5{,}6 \cdot 10^{-10}\ \text{mol/dm}^3$$

Vastaus: Emäsvakion arvo on $5{,}6 \cdot 10^{-10}\ \text{mol/dm}^3$.

76.

a) Suolahappo on vahva happo, joten sen pH:n laskemiseen riittää tietää hapon konsentraatio.

$$\text{pH} = -\log\left[H_3O^+\right] = -\lg(0{,}01) = 2.$$

Vastaus: pH on 2.

b) Etikkahappo on heikko happo, joten muodostuvien oksoniumionien konsentraatio on laskettava ensin. Etikkahapon liukenemisreaktio veteen:

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

Muodostetaan taulukko, johon kirjataan lähtöaineiden ja tuotteiden konsentraatiot:

	$[CH_3COOH]$	$[CH_3COO^-]$	$[H_3O^+]$
Alussa	0,01	0	0
Muutos	$-x$	$+x$	$+x$
Tasapainossa	$0{,}01 - x$	$+x$	$+x$

Kirjoitetaan reaktioyhtälölle tasapainovakio. Yksiköt on jätetty pois selvyyssyistä.

$$K_a = \frac{\left[CH_3COO^-\right] \cdot \left[H_3O^+\right]}{\left[CH_3COOH\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

$$K_a = \frac{x \cdot x}{0{,}01 - x} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

$$x^2 = 1{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot (0{,}01 - x)$$

$$x^2 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} x - 1{,}8 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$x_1 = 4{,}15 \cdot 10^{-4}$$

$x_2 = -4{,}33 \cdot 10^{-4}$ (negatiivinen juuri hylätään, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen)

$$\left[H_3O^+\right] = 4{,}15 \cdot 10^{-4}$$

$$\mathrm{pH} = -\log(4{,}15 \cdot 10^{-4}) \approx 3{,}4$$

Vastaus: pH on 3,4.

c) Yhdestä moolista kalsiumhydroksidia muodostuu kaksi moolia hydroksidi-ioneja:

$$Ca(OH)_2(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2\,OH^-(aq)$$

	$[Ca(OH)_2]$	$[Ca^{2+}]$	$[OH^-]$
Alussa	0,005	0	0
Muutos	$-x$	$+x$	$+2x$
Tasapainossa	0	0,005	0,01

$$\mathrm{pOH} = -\log\left[OH^-\right] = -\log(0{,}01) = 2$$

$$\mathrm{pH} = 14 - \mathrm{pOH} = 12$$

Vastaus: pH on 12.

d) Ammoniakki on heikko emäs, joten pH-laskua varten on tunnettava hydroksidi-ionin tasapainokonsentraatio. Ammoniakin protolyysireaktio:

$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$

	$[NH_3]$	$[NH_4^+]$	$[OH^-]$
Alussa	0,01	0	0
Muutos	$-x$	$+x$	$+x$
Tasapainossa	$0{,}01 - x$	$+x$	$+x$

$$K_b = \frac{\left[NH_4^+\right] \cdot \left[OH^-\right]}{\left[NH_3\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

Emäsvakion $K_b = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ arvo löytyy taulukkokirjasta. Kirjoitetaan tasapainovakion lauseke konsentraatioiden avulla, vrt. b-kohdan lasku. Jätetään yksiköt pois selvyyden takia.

$$K_b = \frac{x \cdot x}{0{,}01 - x} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

Emäsvakion tasapainovakion lausekkeen yhtälön ratkaisuna saadaan

$x_1 = 4{,}15 \cdot 10^{-4}$ ja

$x_2 = -4{,}33 \cdot 10^{-4}$ (negatiivinen juuri hylätään hylätään, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen).

Hydroksidi-ionikonsentraatio

$\left[OH^-\right] = 4{,}15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$, josta

$\text{pOH} = -\log\left[OH^-\right] = 3{,}38$ ja

$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3{,}38 \approx 10{,}6.$

Vastaus: pH on 10,6.

77.

Kirjoita ensin suolan liukenemisreaktio veteen ja pohdi muodostuvien ionien happamuutta / emäksisyyttä. Jos protolyysireaktiossa muodostuvan ionin happo / emäsvakio on suurempi kuin veden happo / emäsvakio, liuoksen pH muuttuu.

a) $KCl(s) \rightarrow K^+(aq) + Cl^-(aq)$

K^+- ja Cl^--ionit ovat vahvan emäksen ja vahvan hapon vastinhappo ja -emäs. K^+- ja Cl^--ionit eivät hydrolysoidu vesiliuoksessa. Kaliumkloridin vesiliuos on neutraali.

b) $NaOH(s) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$

Natriumhydroksidin liuetessa veteen syntyy hydroksidi-ioneja, joten muodostuva vesiliuos on emäksinen.

c) $NaF(s) \rightarrow Na^+(aq) + F^-(aq)$

Natriumfluoridin liuetessa veteen muodostuva fluoridi-ioni on heikko emäs, joka voi vastaanottaa vesiliuoksesta protonin:

$F^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HF(aq) + OH^-(aq)$.

Vetyfluoridin (HF) happovakio $K_a = 6{,}8 \cdot 10^{-4}$ ja

vastinemäksen (F^-) emäsvakio $K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1{,}008 \cdot 10^{-14}}{6{,}8 \cdot 10^{-4}} = 1{,}5 \cdot 10^{-11}$.

Natriumfluoridin vesiliuos on emäksinen.

d) $NH_4Cl(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$

Kloridi-ioni Cl^- on vahvan hapon vastinemäs, joka ei protolysoidu vesiliuoksessa. Ammoniumionin vastinemäs on ammoniakki NH_3 ($K_b = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$).

Ammoniumioni hydrolysoituu vesiliuoksessa:

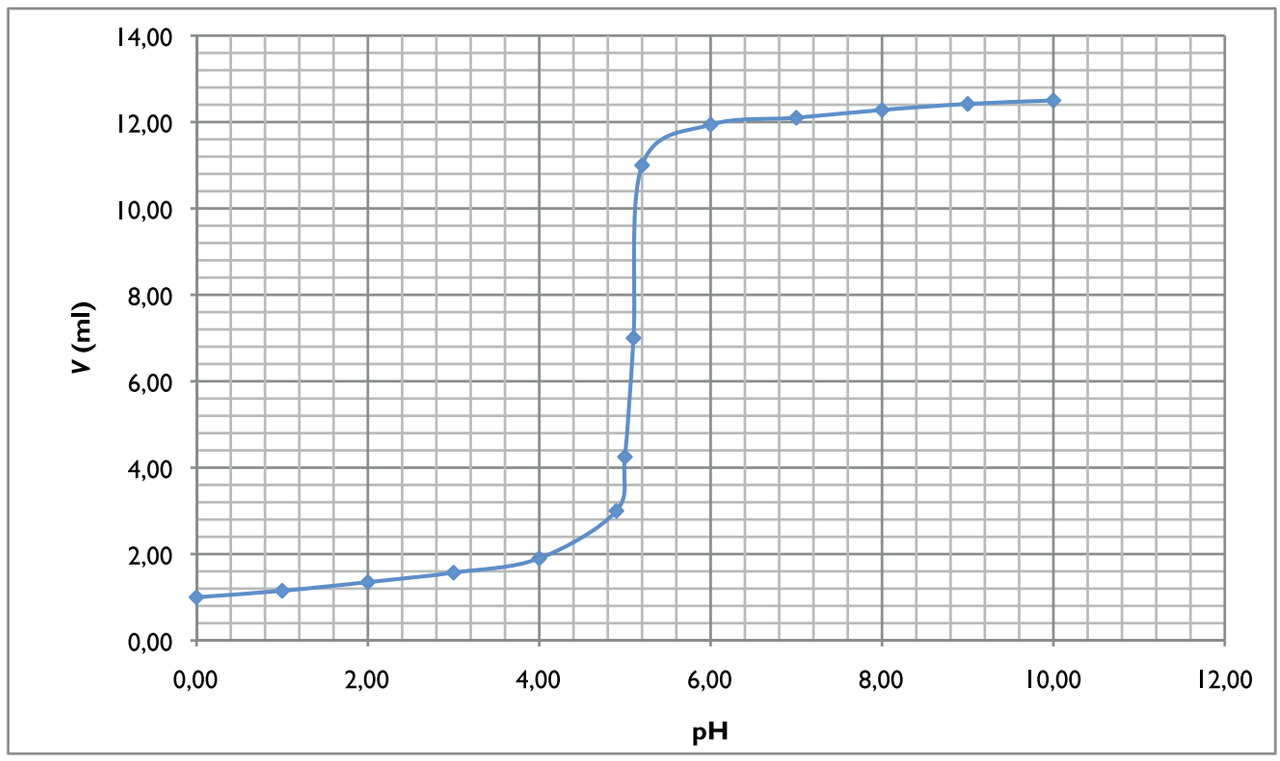
$NH_4^+(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$.

Ammoniumkloridin vesiliuoksen pH on hapan.

78.

a) $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

b)



c) Taulukosta voit etsiä indikaattoreita, joiden värinmuutosalue on titrauskäyrän jyrkimmässä kohdassa. Kun vahvaa emästä titrataan vahvalla hapolla, vaihtoehtoja on monia, koska titrauskäyrä on jyrkkä pH:n ollessa 4–11. Indikaattoreiksi sopivat esimerkiksi fenoliftaleiini, bromitymolinsininen ja metyylipunainen.

d) Ekvivalenttikohta käyrältä luettuna on noin 7,0. Tällöin happoa ja emästä on liuoksessa yhtä paljon. Reaktioyhtälöstä voidaan päätellä, että yksi mooli suolahappoa neutraloi yhden moolin natriumhydroksidia. Luetaan kuvaajalta suolahapon kulutus ekvivalenttikohdassa: $V(\mathrm{HCl}) = 5{,}10$ ml.

$$n(\mathrm{HCl}) = c(\mathrm{HCl}) \cdot V(\mathrm{HCl}) = 0{,}100\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm3}} \cdot 5{,}10 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{dm}^3 = 5{,}10 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{NaOH}) = n(\mathrm{HCl}) = 5{,}10 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{mol}$$

$$c(\mathrm{NaOH}) = \frac{n(\mathrm{NaOH})}{V(\mathrm{NaOH})} = \frac{5{,}10 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{mol}}{5{,}00 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{dm}^3} = 0{,}102\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}$$

Vastaus: Natriumhydroksidiliuoksen konsentraatio on 0,102 mol/dm^3.

e) Titrattaessa vahvalla hapolla tai emäksellä titrauskäyrä on ekvivalenttikohdassa jyrkkä ja ekvivalenttikohdan määritys on tarkempaa, jolloin titraustuloksetkin ovat tarkempia.

79.

a) $\mathrm{HCOOH(aq)} + \mathrm{H_2O(l)} \rightleftharpoons \mathrm{HCOO^-(aq)} + \mathrm{H_3O^+(aq)}$

$$K_\mathrm{a} = \frac{\left[\mathrm{HCOO^-}\right] \cdot \left[\mathrm{H_3O^+}\right]}{\left[\mathrm{HCOOH}\right]}$$

b) Hapon massa saadaan tiheyden avulla:

$\rho = \frac{m}{V}$, josta massa

$$m = \rho \cdot V = 1{,}22\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{ml}} \cdot 1{,}00\ \mathrm{ml} = 1{,}22\ \mathrm{g}.$$

Muurahaishapon ainemäärä

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1{,}22\ \mathrm{g}}{46{,}026\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}026507\ \mathrm{mol} \approx 0{,}03\ \mathrm{mol}$$

ja alkukonsentraatio

$$c_\mathrm{alku} = \frac{n}{V} = \frac{0{,}026507\ \mathrm{mol}}{0{,}100\ \mathrm{dm}^3} = 0{,}26507\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3} \approx 0{,}265\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}.$$

Vastaus: Hapon massa on 1,22 g, ainemäärä 0,03 mol ja alkukonsentraatio 0,265 mol/dm^3.

c) Liuoksessa olevien oksoniumionien konsentraatio saadaan yhtälöstä

$$\mathrm{pH} = -\log\left[\mathrm{H_3O^+}\right]$$

$$\left[\mathrm{H_3O^+}\right] = 10^{-\mathrm{pH}} = 10^{-2,24} = 5,75440 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3} \approx 5,75 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}.$$

Vastaus: Oksoniumionien konsentraatio on $5,75 \cdot 10^{-3}$ mol/dm^3.

d) Hapon tasapainokonsentraatio saadaan vähentämällä alkukonsentraatiosta oksoniumionien konsentraatio:

$$c_{\mathrm{tasapaino}} = c_{\mathrm{alku}} - \left[\mathrm{H_3O^+}\right] = 0,26507\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3} - 5,75440 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3} = 0,25932\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}$$

Vastaus: Hapon tasapainokonsentraatio on 0,25932 mol/dm^3.

e)

	[HCOOH(aq)]	[HCOO$^-$(aq)]	[H$_3$O$^+$(aq)]
Alussa (mol/dm^3)	0,26507	0	0
Muutos (mol/dm^3)	$0,26507 - x$	+x	+x
Tasapainossa (mol/dm^3)	$0,26507 - 5,75440 \cdot 10^{-3}$	$5,75440 \cdot 10^{-3}$	$5,75440 \cdot 10^{-3}$

Kokeellinen happovakion arvo saadaan sijoittamalla lasketut konsentraatiot happovakion lausekkeeseen.

$$K_{\mathrm{a}} = \frac{\left[\mathrm{HCOO^-}\right] \cdot \left[\mathrm{H_3O^+}\right]}{\left[\mathrm{HCOOH}\right]} = \frac{\left(5,75440 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}\right)^2}{0,26507\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3} - 5,75440 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}}$$

$$= 1,277 \cdot 10^{-4}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3} \approx 1,3 \cdot 10^{-4}\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}$$

Vastaus: Kokeellinen happovakion arvo on $1,3 \cdot 10^{-4}$ mol/dm^3.

f) Ero kokeellisen ja taulukkoarvon välillä on pieni. Ero voi aiheutua liuosten valmistuksessa aiheutuvista virheistä (pipetointivirheet, huolimattomasti mitattu tilavuus, huolimattomasti täytetty mittapullo) tai pH-mittauksesta (pH-mittarin tarkkuus, kalibroinnin tarkkuus).

80.

Puskuriliuoksen kokonaistilavuus $V(\text{kok}) = 50\ \text{ml} + 50\ \text{ml} = 100\ \text{ml}$.

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 0{,}050\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 50 \cdot 10^{-3}\ \text{dm}^3 = 0{,}0025\ \text{mol}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{kok})} = \frac{0{,}0025\ \text{mol}}{100 \cdot 10^{-3}\ \text{dm}^3} = 0{,}025\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

$$n(\text{NH}_3) = c(\text{NH}_3) \cdot V(\text{NH}_3) = 0{,}10\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 50 \cdot 10^{-3}\ \text{dm}^3 = 0{,}0050\ \text{mol}$$

$$c(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{V(\text{kok})} = \frac{0{,}0050\ \text{mol}}{100 \cdot 10^{-3}\ \text{dm}^3} = 0{,}050\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Ammoniakkia on ylimäärin ($0{,}050\ \text{mol} - 0{,}0025\ \text{mol} = 0{,}0025\ \text{mol}$), joten liuos voi toimia puskuriliuoksena. Jäljelle jäävän ammoniakin konsentraatio

$$c(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{V(\text{kok})} = \frac{0{,}0025\ \text{mol}}{100 \cdot 10^{-3}\ \text{dm}^3} = 0{,}025\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

NH_3 on heikko emäs ja sitä vastaava konjugaatihappoa (NH_4^+) muodostuu yhtä paljon kuin ammoniakkia.

$$\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$$

Emäsvakiolle pätee:

$$K_\text{b} = 10^{-\text{p}K_\text{b}} = 1{,}78 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \text{ ja } K_\text{b} = \frac{\left[\text{NH}_4^+\right] \cdot \left[\text{OH}^-\right]}{\left[\text{NH}_3\right]}.$$

$$\left[\text{OH}^-\right] = \frac{K_\text{b} \cdot \left[\text{NH}_3\right]}{\left[\text{NH}_4^+\right]} = \frac{1{,}78 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 0{,}025\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}}{0{,}025\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}} = 1{,}78 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

$$\text{pOH} = 4{,}75$$

$$\text{pH} = 14{,}00 - 4{,}75 = 9{,}25 \approx 9{,}3$$

Vastaus: Puskuriliuoksen pH on 9,3.

81.

a) $c(CH_3COOH) = 0{,}250\ M$

$c(CH_3COO^-) = 0{,}250\ M$

$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$

	$[CH_3COOH]$	$[CH_3COO^-]$	$[H_3O^+]$
Alussa (M)	0,250	0,250	0
Muutos (M)	$-x$	$+x$	$+x$
Tasapainossa (M)	$0{,}250 - x$	$0{,}250 + x$	$+x$

$$K_a = \frac{\left[CH_3COO^-\right] \cdot \left[H_3O^+\right]}{\left[CH_3COOH\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ M$$

Puskuriliuoksen pH saadaan ratkaisemalla $[H_3O^+]$ happovakion lausekkeesta. Koska etikkahappo dissosioituu vesiliuoksessa vain vähän, voidaan olettaa, että

$$\left[CH_3COO^-\right] = (0{,}250 + x)\ M \approx 0{,}250\ M \text{ ja}$$

$$\left[CH_3COOH\right] = (0{,}250 - x)\ M \approx 0{,}250\ M.$$

$$\left[H_3O^+\right] = K_a \cdot \frac{\left[CH_3COOH\right]}{\left[CH_3COO^-\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ M \cdot \frac{0{,}250\ M}{0{,}250\ M} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ M$$

$$pH = -\log\left[H_3O^+\right] = -\log(1{,}8 \cdot 10^{-5}) = 4{,}74$$

Vastaus: Puskuriliuoksen pH on 4,74,

b) Puskuriliuokseen lisätään 0,5 mmol suolahappoa. Oletetaan, että liuoksen tilavuus pysyy jotakuinkin samana eli liuoksen kokonaistilavuus on 250 ml. Lasketaan hapon konsentraatio ja huomioidaan laskuissa, että oksoniumioneja on jo alkutilanteessa.

$$c(HCl) = \frac{n(HCl)}{V(kok)} = \frac{0{,}0050\ mmol}{0{,}250\ l} = 0{,}02\ M$$

Kun happoa lisätään puskuriliuokseen, asetaatti-ioni reagoi hapon oksoniumionien kanssa muodostaen etikkahappoa.

$CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$

	$[CH_3COOH]$	$[H_3O^+]$	$[CH_3COO^-]$
Alussa (M)	0,250	0,020	0,250
Muutos (M)	+0,020	−0,020	−0,020
Tasapainossa (M)	0,250 + 0,020	x	0,250 − 0,020

$$\left[H_3O^+\right] = K_a \cdot \frac{\left[CH_3COOH\right]}{\left[CH_3COO^-\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \text{M} \cdot \frac{(0{,}250 + 0{,}020)\ \text{M}}{(0{,}250 - 0{,}020)\ \text{M}} = 2{,}113 \cdot 10^{-5}\ \text{M}$$

$$\text{pH} = -\log\left[H_3O^+\right] = -\log(2{,}113 \cdot 10^{-5}) = 4{,}675 \approx 4{,}68$$

Vastaus: HCl-lisäyksen jälkeen puskuriliuoksen pH on 4,68.

c) Puskuriliuokseen lisätään 0,0050 mol natriumhydroksidia. Oletetaan, että liuoksen tilavuus ei juurikaan muutu eli V = 250 ml. Kun liuokseen lisätään emästä, hydroksidi-ionit reagoivat etikkahapon kanssa tuottaen asetaatti-ioneja.

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V} = \frac{0{,}0050\ \text{mol}}{0{,}250\ \text{l}} = 0{,}02\ \text{M}$$

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_2O(l)$$

	$[CH_3COOH]$	$[H_3O^+]$	$[CH_3COO^-]$
Alussa	0,250	0	0,250
Muutos	–0,0020	0	+0,020
Tasapainossa	0,250 – 0,020	x	0,250 + 0,020

$$\left[H_3O^+\right] = K_a \cdot \frac{\left[CH_3COOH\right]}{\left[CH_3COO^-\right]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \text{M} \cdot \frac{(0{,}250 - 0{,}020)\ \text{M}}{(0{,}250 + 0{,}020)\ \text{M}} = 1{,}533 \cdot 10^{-5}\ \text{M}$$

$$\text{pH} = -\log\left[H_3O^+\right] = -\log(1{,}533 \cdot 10^{-5}) = 4{,}814 \approx 4{,}81$$

Puskuriliuosten pH voidaan laskea myös Hendersonin ja Hasselbalchin yhtälön avulla,

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]}$$

Yhtälö on johdettu happovakion lausekkeesta ratkaisemalla $[H_3O^+]$ ja ottamalla logaritmi molemmin puolin.

$$\text{pH} = -\log\left[H_3O^+\right] \text{ ja}$$

$$-\log\left(K_a \cdot \frac{\left[HA\right]}{\left[A^-\right]}\right) = -\log(K_a) - \log\frac{\left[HA\right]}{\left[A^-\right]} = \text{p}K_a + \frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]} \text{ eli}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\frac{\left[A^-\right]}{\left[HA\right]} = 4{,}74 + \log\left[\frac{(0{,}250 + 0{,}020)\ \text{M}}{(0{,}250 - 0{,}020)\ \text{M}}\right] = 4{,}8096 \approx 4{,}81.$$

Vastaus: NaOH-lisäyksen jälkeen puskuriliuoksen pH on 4,81.

82.

a) Sijoitetaan annettu pH ja hapon pK_a Hendersonin ja Hasselbalchin yhtälöön ja ratkaistaan emäs- ja happomuodon suhde.

$$pH = pK_a + \lg\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

$$\Rightarrow 1{,}7 = 4{,}7 + \log\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]},$$

josta emäs- ja happomuodon suhde

$$\log\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = -3{,}0$$

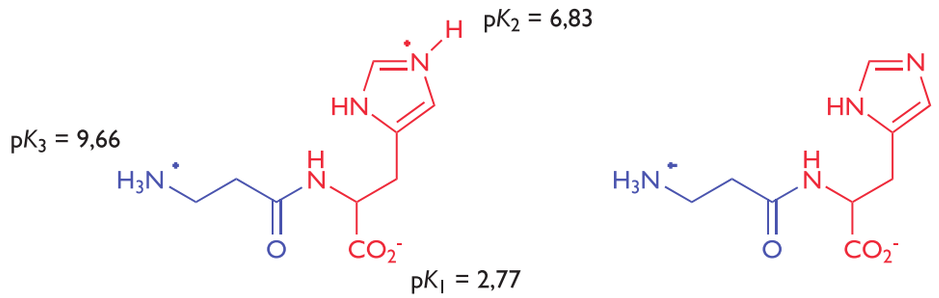
$$\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 10^{-3{,}0}$$

$$\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = \frac{1}{1000}$$

Tämä tarkoittaa, että pH:n ollessa 1,7, suurin osa haposta on happomuodossa (CH_3COOH). Emäs- ja happomuotojen suhteet taulukoituna:

pH	$\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$
1,7	1 : 1000
2,7	1 : 100
3,7	1 : 10
4,7	1 : 1
5,7	10 : 1
6,7	100 : 1
7,7	1000 : 1

b) Fysiologisessa pH:ssa 7,4 vallitsevat ionimuodot ovat:



karnosiini

Tämä voidaan päätellä seuraavasti:

$$pK_1 = 2,77$$

$$7,4 = 2,77 + \log\frac{\left[R-COO^-\right]}{\left[R-COOH\right]}$$

$$\frac{\left[R-COO^-\right]}{\left[R-COOH\right]} = 10^{4,63} \approx 42658 \text{ eli}$$

$$\frac{\left[R-COO^-\right]}{\left[R-COOH\right]} \approx \frac{43000}{1}$$

→ Karboksyylihapon emäsmuoto on vallitseva ionimuoto.

$$pK_2 = 6,83$$

$$\frac{\left[Im\right]}{\left[ImH^+\right]} \approx \frac{3,7}{1}$$

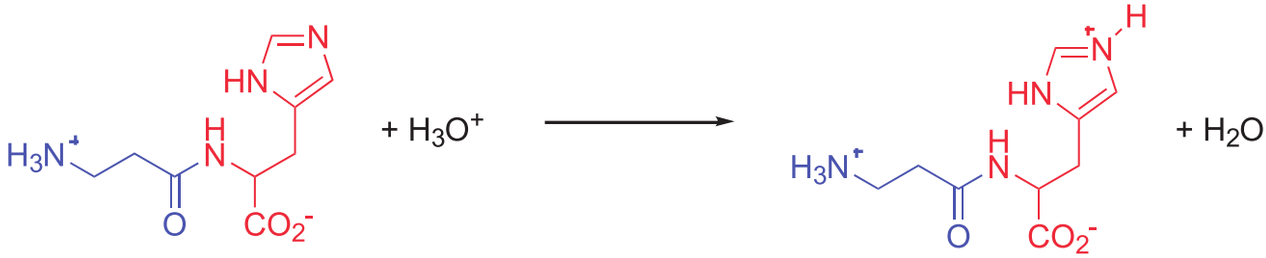
→ Karnosiinin imidatsolirenkaasta (Im) on läsnä sekä happo- että emäsmuodot.

$$pK_3 = 9,66$$

$$\frac{\left[R-NH_2\right]}{\left[R-NH_3^+\right]} \approx \frac{1}{180}$$

→ Amiinin happomuoto on vallitseva ionimuoto.

Seuraava reaktio tapahtuu, kun oksoniumionikonsentraatio kasvaa pH:n ollessa 7,4:



Histidiinin imidatsolirengas neutraloi oksoniumionit ja pH muuttuu vain vähän. Karnosiinin karboksyyliryhmä ($pK_3 = 2{,}77$) puskuroi pH:n muutoksia tehokkaasti vain happamassa pH:ssa 1,77 – 3,77 ja aminoryhmä emäksisessä pH:ssa 8,66 – 10,66.

Kun proteiini puskuroi pH:n muutosta, histidiinitähteen imidatsolirengas on proteiinien tärkein pH:n muutosta vastustava ryhmä fysiologisessa pH:ssa. Imidatsolirenkaan pK_a on yleensä välillä 5,5 – 8,5 riippuen ympäröivästä proteiinin tai lyhyen peptidin rakenteesta.

83.

a) (i) $CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(aq)$

(ii) $CO_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$

(iiia) $H_2CO_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$

(iiib) $HCO_3^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq)$

b) Hiilihapon $pK_1 = 6{,}1$ ja $pK_2 = 10{,}2$. pK_1 viittaa a-kohdan reaktioon iiia ja pK_2 reaktioon iiib. pK_a-arvoista voidaan päätellä, että fysiologisessa pH:ssa 7,4 reaktio iiib tapahtuu vain hyvin vähäisessä määrin, koska pK_2 on lähes kolmen pH-yksikön päässä fysiologisesta pH:sta (ks. tehtävä 1a). Kun Hendersonin-Hasselbalchin yhtälöön sijoitetaan $pK_1 = 6{,}1$ ja pH = 7,4, saadaan

$$\mathrm{pH} = \mathrm{p}K\mathrm{a} + \log\frac{\left[HCO_3^-\right]}{\left[H_2CO_3\right]}$$

$$7{,}4 = 6{,}1 + \log\frac{\left[HCO_3^-\right]}{\left[H_2CO_3\right]}$$

$$\frac{\left[HCO_3^-\right]}{\left[H_2CO_3\right]} = \frac{20}{1}.$$

Siten hiilidioksidi kulkee elimistössä pääasiassa vetykarbonaatti-ionina (HCO_3^-).

Vastaus: Hiilidioksidin pääasiallinen kuljetusmuoto elimistössä on vetykarbonaatti-ioni (HCO_3^-).

c) $HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + H_2O(l)$

Tämä on a-kohdan iiia-reaktio käänteisenä. Reaktion tasapaino on vahvasti oikealla tuotteiden puolella. Muodostunut hiilihappo (H_2CO_3) hajoaa edelleen vedeksi ja hiilidioksidiksi.

d) Bikarbonaatti-ionit neutraloivat happamuuden aiheuttavat oksoniumionit:

$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + H_2O(l)$

Tämä on sama reaktio kuin c-kohdassa.

Hiilihappo hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi:

$H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons CO_2(aq) + H_2O(l)$

Tietty entsyymi katalysoi reaktioita, jotta ne tapahtuisivat elimistössä riittävän nopeasti. Plasman hiilidioksipitoisuuden kasvu nostaa liuenneen hiilidioksidin painetta keuhkorakkuloissa, ja hiilidioksidi poistuu uloshengityksessä:
$CO_2(aq) \rightleftharpoons CO_2(g)$.

84.

a) Fosforihapon protoninsiirtoreaktiot:

$H_3PO_4(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2PO_4^-(aq) + H_3O^+(aq)$ $pK_1 = 2{,}14$

$H_2PO_4^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HPO_4^{2-}(aq) + H_3O^+(aq)$ $pK_2 = 6{,}86$

$HPO_4^{2-}(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons PO_4^{3-}(aq) + H_3O^+(aq)$ $pK_3 = 12{,}4$.

Virtsasta mitatussa pH:ssa 7,2 fosforihapon muotojen H_3PO_4 ja PO_4^{3-} osuus on erittäin pieni. Koska vastaus pyydettiin kokonaislukujen tarkkuudella, niiden määrää ei tarvitse huomioida. Esimerkiksi suhde $[H_2PO_4^-] : [H_3PO_4]$ pH:ssa 7,2 olisi noin 115 000 : 1 (Hendersonin-Hasselbalchin yhtälöön sijoitettu pH = 7,2 ja $pK_1 = 2{,}14$). Vastaavasti $[PO_4^{3-}] : [HPO_4^{2-}]$ olisi noin 1 : 160000 (Hendersonin-Hasselbalchin yhtälöön sijoitettu pH = 7,2 ja $pK_3 = 12{,}4$).

$$pH = pK_a + \log\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]}$$

$$7{,}2 = 6{,}86 + \log\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]}$$

$$\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 2{,}18776$$

Merkitään $[H_2PO_4^-] = x$ ja $[HPO_4^{2-}] = 2{,}18776x$

Ionimuotoja on yhteensä $[H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] = 3{,}18776x$

$$H_2PO_4^-\text{:n osuus} = \frac{x}{3{,}18776x} = 31\,\%$$

$$HPO_4^{2-}\text{:n osuus} = \frac{2{,}18776x}{3{,}18776x} = 69\,\%$$

Vastaus: $H_2PO_4^-$:n osuus on 31 % ja HPO_4^{2-}:n osuus 69 %.

b) $HPO_4^{2-}(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow H_2PO_4^-(aq) + H_2O(aq)$

Monovetyfosfaatti neutraloi virtsaan erittyvän oksoniumionin, jolloin syntyy divetyfosfaattioni. Siten pH muuttuu vain vähän.

5 Happo-emästasapaino

Ylioppilas- ja pääsykoetehtävien 85–94 ratkaisut

85.

a) Emäksisen liuoksen pH on suurempi kuin 7. Emäksisessä liuoksessa hydroksidi-ionien (OH^-) konsentraatio on suurempi kuin oksoniumionien (H_3O^+) konsentraatio. Emäksisiä liuoksia ovat esimerkiksi natriumhydroksidin vesiliuos ja ammoniakki.

b) Heikko emäs on emäs, josta vain osa protolysoituu eli muodostaa vesiliuoksessa hydroksidi-ioneja, esimerkiksi ammoniakki.

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

c) Emäksinen oksidi on ioniyhdiste, joka veteen liuetessaan muodostaa emäksisen liuoksen. Emäksisiä liuoksia muodostavat esimerkiksi alkalimetallien ja maa-alkalimetallien oksidit:

$$CaO(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + O^{2-}(aq)$$

$$O^{2-}(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2\ OH^-(aq)$$

eli kokonaisreaktiona

$$CaO(s) + H_2O(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$$

d) Liuoksen hydroksidi-ionien konsentraatio voidaan laskea pOH:n avulla eli ottamalla kymmenkantainen logaritmi liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatiosta ja ottamalla vastaluku saadusta tuloksesta: $pOH = -\log[OH^-]$.

Liuoksen pH voidaan laskea yhtälöstä $pH = 14 - pOH$.

e) Amfolyytti on aine, joka voi toimia sekä happona että emäksenä, esimerkkinä vesi:

$$2\ H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq).$$

f) Neutraloitumisreaktiossa happo ja emäs reagoivat tuottaen neutraalin liuoksen:

$$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2\ H_2O.$$

Esimerkkinä suolahapon ja natriumhydroksidin välinen neutraloitumisreaktio, jossa syntyy myös suolaa:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O.$$

86.

$m(\mathrm{Ba(OH)_2 + BaCl_2}) = 1{,}6524\ \mathrm{g}$

Bariumhydroksidia ja bariumkloridia sisältävä näyte liuotettiin suolahappoon, jolloin hydroksidi-ionit reagoivat hapon kanssa. Bariumkloridi ei vaikuta muodostuneen liuoksen happamuuteen. Ylimäärä happoa titrattiin natriumhydroksidiliuoksella.

$$\mathrm{M(Ba(OH)_2)} = (137{,}33 + 2 \cdot 16{,}00 + 2 \cdot 1{,}008)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 171{,}346\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$

Lasketaan ensin NaOH-liuoksen konsentraatio. 25,0 ml NaOH-liuosta titrattiin 0,200 M HCl-liuoksella, jolloin sitä kului 28,5 ml.

$$\mathrm{HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O}$$

$$c(\mathrm{NaOH}) = \frac{n(\mathrm{NaOH})}{V(\mathrm{NaOH})} = \frac{c(\mathrm{HCl}) \cdot V(\mathrm{HCl})}{V(\mathrm{NaOH})} = \frac{0{,}200\ \mathrm{M} \cdot 28{,}5\ \mathrm{ml}}{25{,}0\ \mathrm{ml}} = 0{,}228\ \mathrm{M}$$

Happoylimäärä oli tällöin

$$n(\mathrm{HCl_{ylim.}}) = c(\mathrm{NaOH}) \cdot V(\mathrm{HCl}) = 0{,}228\ \mathrm{M} \cdot 10{,}9 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{dm^3} = 2{,}4852\ \mathrm{mmol}.$$

Happoa kului bariumhydroksidin neutralointiin

$$\begin{aligned} n(\mathrm{HCl_{neutr.}}) &= n(\mathrm{HCl_{alussa}}) - n(\mathrm{HCl_{ylim.}}) = c(\mathrm{HCl}) \cdot V(\mathrm{HCl}) - n(\mathrm{HCl_{ylim.}}) \\ &= 0{,}200\ \mathrm{M} \cdot 100 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{dm^3} - 2{,}4852 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{mol} = 20\ \mathrm{mmol} - 2{,}4852\ \mathrm{mmol} = 17{,}5148\ \mathrm{mmol}. \end{aligned}$$

Neutraloimisreaktiossa yhtä bariumhydroksidimoolia kohden tarvitaan kaksi suolahappomoolia.

$$\mathrm{Ba(OH)_2 + 2\ HCl \rightarrow BaCl_2 + 2\ H_2O}$$

$$n(\mathrm{Ba(OH)_2}) = \frac{1}{2} \cdot n(\mathrm{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 17{,}5148\ \mathrm{mmol} = 8{,}7574\ \mathrm{mmol}$$

$$\begin{aligned} m(\mathrm{Ba(OH)_2}) &= n(\mathrm{Ba(OH)_2}) \cdot M(\mathrm{Ba(OH)_2}) = 8{,}7574 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{mol} \cdot 171{,}346\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \\ &\approx 1{,}5005\ \mathrm{g} \end{aligned}$$

Bariumhydroksidin massaprosenttiosuus näytteessä on

$$\frac{1{,}5005\ \mathrm{g}}{1{,}6524\ \mathrm{g}} \cdot 100\ \% \approx 90{,}8\ \%.$$

Vastaus: Bariumhydroksidia on 90,8 *m*-%.

87.

a) Kalsiumhydroksidi muodostaa emäksisen liuoksen, koska liuoksessa on hydroksidi-ioneja.

$Ca(OH)_2(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$

b) Metyyliamiinin liuetessa veteen muodostuu hydroksidi-ioneja, joten liuos on emäksinen.

$CH_3NH_2(aq) + H_2O(l) \rightarrow CH_3NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$

c) Kaliumkarbonaatin liukenemisreaktiossa syntyy kaliumioneja ja karbonaatti-ioneja.

$K_2CO_3(aq) \rightarrow 2\ K^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$

Karbonaatti-ioni on heikko emäs, joka voi vastaanottaa protoneja. Kaliumionit eivät protolysoidu. Kaliumkarbonaatin vesiliuos on emäksinen, koska liuokseen muodostuu hydroksidi-ioneja.

$CO_3^{2-}(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + OH^-(aq)$

d) Alumiininitraatti liukenee veteen ja muodostunut alumiini-ioni hydratoituu. Nitraatti-ioni ei hydratoidu vesiliuoksessa.

$Al(NO_3)_3(aq) \rightarrow Al^{3+}(aq) + 3\ NO_3^-(aq)$

$Al^{3+}(aq) \rightarrow [Al(H_2O)_6]^{3+}(aq)$

Hydratoitunut alumiini-ioni toimii happona vesiliuoksessa, joten liuoksen pH on hapan.

$[Al(H_2O)_6]^{3+}(aq) + H_2O(l) \rightarrow [Al(H_2O)_5(OH)^{2+}](aq) + H_3O^+(aq)$

e) Natriumbentsoaatin liukenemisreaktio

$C_6H_5COONa(s) + H_2O(l) \rightarrow Na^+(aq) + C_6H_5COO^-(aq)$

$C_6H_5COO^-$-ioni protolysoituu vesiliuoksessa:

$C_6H_5COO^- + H_2O(l) \rightarrow C_6H_5COOH(aq) + OH^-(aq)$

Koska liuokseen muodostuu hydroksidi-ioneja, natriumbentsoaatin vesiliuos on emäksinen.

f) $1{,}0 \cdot 10^{-8}$ M suolahappo protolysoituu seuraavasti

$HCl(aq) + H_2O(l) \rightarrow Cl^-(aq) + H_3O^+(aq)$

Koska suolahapon konsentraatio on hyvin pieni, myös veden autoprotolyysillä on merkitystä. pH:ta laskettaessa oksoniumionien konsentraatiossa on huomioitava veden ja suolahapon sisältämät oksoniumionit eli

$[H_3O^+] = 1{,}0 \cdot 10^{-8}\ M + 1{,}0 \cdot 10^{-7} = 1{,}1 \cdot 10^{-7}\ M$

Tällöin $pH = -\log(1{,}1 \cdot 10^{-7}) \approx 6{,}96$.

$1{,}0 \cdot 10^{-8}$ M suolahapon pH on siis hyvin heikosti hapan.

88.

a) Etikkahapon protolyysireaktio

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$$

	$[CH_3COOH]$	$[H_3O^+]$	$[CH_3COO^-]$
Alussa (mol/l)	0,10	0	0
Muutos (mol/l)	$-x$	$+x$	$+x$
Tasapainossa (mol/l)	$0{,}10 - x$	$+x$	$+x$

Koska etikkahappo on heikko happo, vain pieni osa siitä dissosioituu.

Laskuissa $0{,}10 \text{ mol/l} - x \approx 0{,}10 \text{ mol/l}$.

Etikkahapon tasapainovakion lauseke on muotoa

$$K_a = \frac{\left[H_3O^+\right] \cdot \left[CH_3COO^-\right]}{\left[CH_3COOH\right]}.$$

Jätetään yksiköt pois, jolloin yhtälö saadaan muotoon

$$\frac{x \cdot x}{0{,}10 - x} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

Saadaan toisen asteen yhtälö

$$x^2 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} x - 1{,}8 \cdot 10^{-6} = 0$$

$$x_1 = 1{,}3327 \cdot 10^{-3}$$

$x_2 = -1{,}35067 \cdot 10^{-3}$ (negatiivinen juuri hylätään, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen)

Dissosiaatioaste eli protolyysiaste

$$\alpha = \frac{\left[CH_3COO^-\right]}{\left[CH_3COOH\right]} = \frac{1{,}3327 \cdot 10^{-3} \ \frac{\text{mol}}{\text{l}}}{(0{,}10 - 1{,}3327 \cdot 10^{-3}) \ \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = 0{,}013507 \approx 1{,}4 \ \%.$$

Vastaus: 1,4 % etikkahaposta dissosioituu.

b) Kun etikkahappoa lisätään suolahappoliuokseen, liuoksessa on jo valmiiksi oksoniumioneja.

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$$

	$[CH_3COOH]$	$[H_3O^+]$	$[CH_3COO^-]$
Alussa	0,10	0,010	0
Muutos	$-x$	$+x$	$+x$
Tasapainossa	$0{,}10 - x$	$0{,}010 + x$	$+x$

Tasapainovakion lauseke

$$K_a = \frac{\left[H_3O^+\right]\cdot\left[CH_3COO^-\right]}{\left[CH_3COOH\right]} = 1{,}8\cdot10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

Jätetään yksiköt pois, jolloin yhtälö saadaan muotoon

$$\frac{(0{,}010+x)\cdot x}{0{,}10-x} = 1{,}8\cdot10^{-5}$$

$$x^2 + 0{,}010018x - 1{,}8\cdot10^{-6} = 0$$

$$x_1 = 1{,}76565\cdot10^{-4}$$

$x_2 = -0{,}010195$ (negatiivinen juuri hylätään, koska konsentraatio ei voi olla negatiivinen)

Dissosiaatioaste

$$\alpha = \frac{\left[CH_3COO^-\right]}{\left[CH_3COOH\right]} = \frac{1{,}76565\cdot10^{-4}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}}{(0{,}10-1{,}76565\cdot10^{-4})\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = 1{,}7688\cdot10^{-3} \approx 0{,}18\ \%.$$

Vastaus: 0,18 % etikkahaposta dissosioituu.

89.

Heikkoa yksiarvoista happoa (HA) titrataan NaOH-liuoksella. Neutraloitumisreaktio
$HA(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaA(aq) + H_2O(l)$

a) Oikein. Ekvivalenttikohdalla happoa ja emästä on lisätty samat ainemäärät.

b) Oikein. Liuoksessa olevien ionien positiiviset ja negatiiviset varaukset kumoavat toisensa.

c) Väärin. pH = pK_a silloin, kun haposta on puolet titrattu.

d) Väärin. Heikkoa happoa titrattaessa vahvalla emäksellä (NaOH) ekvivalenttikohdassa pH > 7.

e) Väärin. Liuos toimii puskuriliuoksena ns. puskurialueella, eli silloin kun $[HA] \approx [A^-]$. Tällöin emäksen lisäys aiheuttaa vain pienen muutoksen liuoksen happamuuteen. Ekvivalenttikohdalla pienikin emäslisäys aiheuttaa huomattavan muutoksen liuoksen happamuuteen.

f) Väärin. Ekvivalenttikohdalla hydroksidi-ionit ovat neutraloituneet. $[Na^+] = [A^-]$

90.

a) Kalsiumhydroksidin vesiliuoksessa emäksisyyden aiheuttavat hydroksidi-ionit:

$Ca(OH)_2(s) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$

Lasketaan ensin, kuinka paljon hydroksidi-ioneja tarvitaan, jotta muodostuvan liuoksen pH = 12,15. Kun $[OH^-]$ tunnetaan, voidaan laskea kiinteän kalsiumhydroksidin massa.

pH = 12,15 eli pOH = 14 – 12,15 = 1,85

$$\left[OH^-\right] = 10^{-1,85}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} = 0,014125\ \text{mol}$$

$$n(Ca(OH)_2) = \frac{1}{2} \cdot 0,014125\ \text{mol} = 0,0070627\ \text{mol}$$

$$m(Ca(OH)_2) = n(Ca(OH)_2) \cdot M(Ca(OH)_2) = 0,0070627\ \text{mol} \cdot 74,093\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$= 0,523296\ \text{g} \approx 0,52\ \text{g}$$

Punnitaan 0,52 g kalsiumhydroksidia ja liuotetaan se pieneen määrään ionivaihdettua vettä 1,0 litran mittapullossa ja sekoitetaan välillä. Lopuksi lisätään ionivaihdettua vettä merkkiin asti.

b) a-kohdassa valmistetun kalsiumhydroksidiliuoksen hydroksidi-ionien pitoisuus on 0,014125 mol/l.

15,0 ml a-kohdan liuosta sisältää hydroksidi-ioneja

$$n(OH^-) = c(OH^-) \cdot V(OH^-) = 0,014125\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 0,0150\ \text{l} = 2,11875 \cdot 10^{-4}\ \text{mol, josta}$$

$$c(OH^-) = \frac{n(OH^-)}{V} = \frac{2,11875 \cdot 10^{-4}\ \text{mol}}{0,500\ \text{l}} = 4,2375 \cdot 10^{-4}\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$\text{pOH} = -\log\left[OH^-\right] = -\log(4,2375 \cdot 10^{-4}) = 3,373.$$

Liuoksen pH on tällöin

pH = 14 – pOH = 14 – 3,373 ≈ 10,63.

Vastaus: Liuoksen pH on 10,63.

91.

a) Pistessä A, koska ammoniakki on emäksinen ja sitä ei ole vielä neutraloitu.

b) Titrattaessa ammoniakkia suolahapolla muodostuu ammoniumioneja ja kloridi-ioneja:

$NH_3(aq) + HCl(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$

Ammoniumionien konsentraatio on suurin ekvivalenttikohdassa eli pisteessä C. Tällöin kaikki ammoniakki on neutraloitunut. Kun titrausta jatketaan ekvivalenttikohdan yli, ammoniumioneja ei enää muodostu ja ammoniumionien konsentraatio pienenee liuoksen kokonaistilavuuden kasvaessa.

c) Pisteessä B. Pisteen B lähettyvillä (± 1 pH-yksikköä) liuos toimii puskuriliuoksena. Pisteessä B ammoniakin konsentraatio on yhtä suuri kuin muodostuvien ammoniumionien. Ammoniakki (heikko emäs) ja ammoniumkloridi (heikon emäksen suola) muodostavat emäksisen puskuriliuoksen.

d) Pisteessä C eli ekvivalenttipisteessä liuos on hapan, koska heikkoa emästä titrataan vahvalla hapolla. Titrausreaktiossa muodostuvat ammoniumionit reagoivat veden kanssa ja muodostavat ammoniakkia ja oksoniumioneja. Oksoniumionit aiheuttavat liuoksen happamuuden.

$NH_3(aq) + HCl(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$

$NH_4^+(aq) + H_2O \rightarrow NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$

92.

a) Titrauksen ekvivalenttikohta luetaan kuvaajalta:

pH = 8,3 ja $V(\text{NaOH}) = 5{,}5$ ml.

Yksiarvoisen hapon titrauksen ekvivalenttikohdassa hapon ja emäksen ainemäärät ovat samat.

$HA + NaOH \rightarrow NaA + H_2O$

$n(\text{HA}) = n(\text{NaOH})$

Hapon konsentraatio alkuperäisessä liuoksessa:

$$c(\text{HA}) = \frac{n(\text{HA})}{V(\text{HA})} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{HA})} = \frac{0{,}10\ \text{M} \cdot 5{,}5\ \text{ml}}{25{,}0\ \text{ml}} = 0{,}022\ \text{M}.$$

Vastaus: Hapon konsentraatio oli 0,22 M.

b) Happo-emäsindikaattorit ovat heikkoja happoja tai emäksiä, joilla on eriväriset happo- ja emäsmuodot. Jokaisella indikaattorilla on oma värinmuutosalueensa. Valittaessa indikaattoria pitää indikaattorin värinmuutosalue olla samalla pH-alueella kuin titrauksen ekvivalenttikohta. Indikaattorin värinmuutos pitää myös olla helposti havaittavissa. Tehtävän happo-emästitraukseen sopii esimerkiksi fenoliftaleiini, jonka happomuoto on väritön ja emäsmuoto fuksian värinen.

c) Heikon hapon happovakio voidaan lukea titrauskäyrältä. Titrattaessa heikkoa happoa vahvalla emäksellä syntyy puskuriliuos, jossa $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_\mathrm{a} + \log\frac{[\mathrm{A}^-]}{[\mathrm{HA}]}$. Kun heikosta haposta puolet on neutraloitu, suolaa (A^-) ja happoa (HA) on yhtä paljon ja logaritmilauseke supistuu pois. Tällöin heikon hapon happovakio voidaan lukea pH-asteikolta.

Titrauksen päätepiste on $V(\mathrm{NaOH}) = 5{,}5$ ml. Happovakio luetaan kohdasta V = 2,75 ml, joka vastaa pH-asteikolla noin arvoa $4{,}8 = \mathrm{p}K_\mathrm{a}$. Tällöin happovakion arvo on $K_\mathrm{a} = 10^{-4{,}8}$ mol/l $\approx 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ mol/l.

Vastaus: $K_\mathrm{a} \approx 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ mol/l.

d) $\mathrm{HA} + \mathrm{H_2O} \rightarrow \mathrm{A^-} + \mathrm{H_3O^+}$

$\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H_3O^+}]$, josta

$[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-\mathrm{pH}} = 10^{-4{,}74} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol/l, eli kyseessä on etikkahappo.

$\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_\mathrm{a} + \log\frac{[\mathrm{A}^-]}{[\mathrm{HA}]}$, josta

$\frac{[\mathrm{A}^-]}{[\mathrm{HA}]} = 1$ eli $[\mathrm{A}^-] = [\mathrm{HA}]$.

$[\mathrm{HA}] = 0{,}10$ M ja $V(\mathrm{HA}) = 20$ ml.

Ekvivalenttikohdassa hapon ja emäksen ainemäärät ovat samat:

$n(\mathrm{HA}) = \mathrm{n}(\mathrm{OH^-})$,

eli emästä pitää lisätä

$n(\mathrm{NaOH}) = n(\mathrm{HCl}) = 0{,}10$ M $\cdot$ 20,0 ml = 2 mmol eli

$V(\mathrm{NaOH}) = c(\mathrm{NaOH}) \cdot n(\mathrm{NaOH}) = 0{,}10$ M $\cdot$ 2 mmol = 20,0 ml.

Natriumhydroksidililiuosta lisättiin puolet ekvivalenttikohdan kulutuksesta eli 10,0 ml.

Vastaus: Emäsliuosta tarvittiin 10,0 ml.

93.

a) Lasketaan ensin hapon moolimassa, ainemäärä ja konsentraatio. Nämä voidaan laskea ideaalikaasun tilanyhtälön avulla.

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, $n = \frac{m}{M}$ ja $\rho = \frac{m}{V}$.

$p \cdot V = \frac{m \cdot R \cdot T}{M}$, josta hapon moolimassa

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{V \cdot p} = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p} = \frac{1{,}05 \cdot 10^3 \ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 8{,}31451 \ \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 313{,}15 \ \text{K}}{101\,325 \ \text{Pa}} = 26{,}98 \ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Hapon ainemäärä

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1{,}85 \ \text{g}}{26{,}98 \ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}0686 \ \text{mol}$$

ja hapon konsentraatio

$$c = \frac{n}{V} = \frac{0{,}0686 \ \text{mol}}{450 \cdot 10^{-3} \ \text{dm}^3} = 0{,}1524 \ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}.$$

Tasapainossa happoliuoksen pH = 5,01, joka vastaa oksoniumionikonsentraatiota

$$\left[\text{H}_3\text{O}^+\right] = 10^{-5{,}01} = 9{,}7724 \cdot 10^{-6} \ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}.$$

Lasketaan happovakion arvo. Taulukoidaan ensin konsentraatiot, kirjoitetaan yhtälö ja ratkaistaan se.

$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

	[HA]	$[\text{A}^-]$	$[\text{H}_3\text{O}^+]$
Alussa (M)	0,1524	0	0
Muutos (M)	$-x$	$+x$	$+x$
Tasapainossa (M)	$0{,}1524 - x$	x	x

$x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 9{,}7724 \cdot 10^{-6}$ M

Happovakio

$$K_\text{a} = \frac{\left[\text{H}_3\text{O}^+\right] \cdot \left[\text{A}^-\right]}{\left[\text{HA}\right]} = \frac{\left(9{,}7724 \cdot 10^{-6} \ \text{M}\right)^2}{\left(0{,}1524 - 9{,}7724 \cdot 10^{-6}\right) \text{M}} = 6{,}2668 \cdot 10^{-10} \ \text{M} \approx 6{,}3 \cdot 10^{-10} \ \text{M}.$$

Vastaus: Happovakion arvo on $6{,}3 \cdot 10^{-10}$ M.

b) Hapon protolyysiaste:

$$\frac{\left[H_3O^+\right]}{\left[HA\right]} \cdot 100\,\% = \frac{9{,}7724 \cdot 10^{-6}\ \text{M}}{0{,}1524\ \text{M}} \approx 0{,}0064\,\%.$$

Vastaus: Haposta on protolysoitunut 0,0064 %.

94.

a) Neutraloitumisreaktio

$$H_2SO_4(aq) + Ca(OH)_2(s) \rightarrow CaSO_4(aq) + 2\ H_2O(l)$$

b) Järviveden pH = 5,00, josta voidaan laskea oksoniumionien konsentraatio:

$$\left[H_3O^+\right] = 10^{-5{,}00} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$$

$$\left[H_3O^+\right] = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Järven tilavuus on pinta-ala kerrottuna keskisyvyydellä eli

$$V_{\text{järvi}} = 1{,}5\ \text{km}^2 \cdot 6{,}0\ \text{m} = 1\,500\,000\ \text{m}^2 \cdot 6{,}0\ \text{m} = 9\,000\,000\ \text{m}^3$$

$$n(H_3O^+) = \left[H_3O^+\right] \cdot V_{\text{järvi}} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 9\,000\,000\,000\ \text{dm}^3 = 90\,000\ \text{mol}$$

Rikkihappo on kaksiarvoinen happo, joten järven rikkihapon ainemäärä on puolet oksoniumionien ainemäärästä.

$$n(H_2SO_4) = \frac{1}{2} \cdot n(H_3O^+) = \frac{1}{2} \cdot 90\,000\ \text{mol} = 45\,000\ \text{mol}$$

Neutraloitumisen reaktioyhtälön mukaan

$$n(H_2SO_4) = \frac{1}{2} \cdot n(H_3O^+) = n(Ca(OH)_2) = 45\,000\ \text{mol}.$$

Tarvittava kalsiumhydroksidin massa on

$$m = n \cdot M = 45\,000\ \text{mol} \cdot 74{,}093\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 3\,334\,185\ \text{g} = 3\,334{,}185\ \text{kg} \approx 3\,300\ \text{kg}.$$

Vastaus: Järven neutraloitumiseen tarvitaan noin 3 300 kilogrammaa kalsiumhydroksidia.

6 Orgaaniset yhdisteet

Tehtävien 95–102 ratkaisut

95.

Tyydyttymätön yhdiste	A, G
Syklinen yhdiste	C, E, F
Aromaattinen yhdiste	E, F
Sekundaarinen alkoholi	C
Primaarinen amiini	E
Avoketjuinen hiilivety	B, G

96.

a) Pantoteenihappo voidaan luokitella primäärisiin alkoholeihin, sekundäärisiin alkoholeihin, karboksyylihappoihin ja amideihin.

b) Pantoteenihapon molekyylikaava on $C_9H_{17}NO_5$.

c) Yhdisteen moolimassa

$M(C_9H_{17}NO_5)$

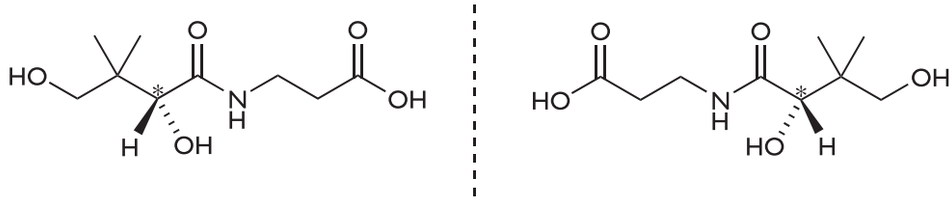
$= (9 \cdot 12{,}01 + 17 \cdot 1{,}008 + 14{,}01 + 5 \cdot 16{,}00)$ g/mol

$= 219{,}236$ g/mol

$\approx 219{,}24$ g/mol

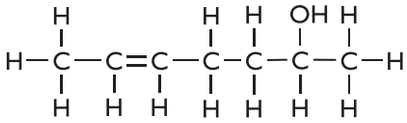
Vastaus: Yhdisteen moolimassa on 219,24 g/mol

d) Yhdisteellä voi olla kaksi enantiomeeria eli peilikuvaisomeeria. Kiraliakeskus on merkitty tähdellä.



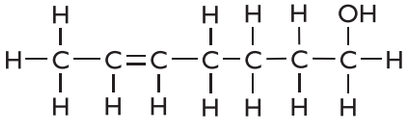
Huom! Luonnon pantoteenihappo koostuu vain yhdestä, yllä olevassa kuvassa vasemmalla esitetystä enantiomeerista.

97.



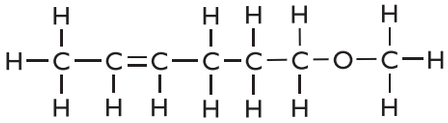
(hept-5-en-2-oli)

a)



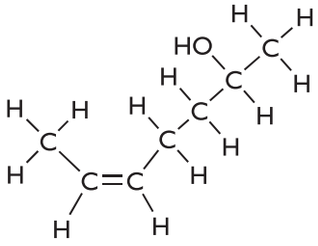
(hept-5-en-1-oli)

b)

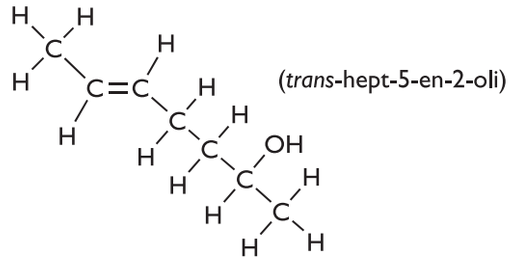


(heks-4-enyylimetyylieetteri)

c)

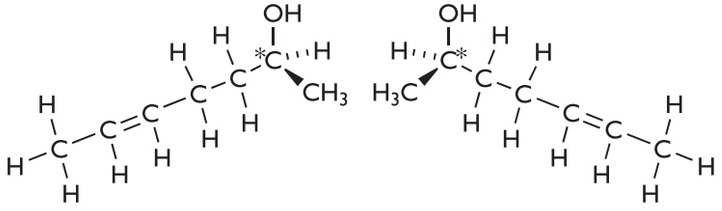


(*cis*-hept-5-en-2-oli)



(*trans*-hept-5-en-2-oli)

d)



98.

$$n(\mathrm{C}) = n(\mathrm{CO_2}) = \frac{2{,}64\ \mathrm{g}}{(12{,}01 + 2 \cdot 16)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}059986\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{H}) = 2 \cdot n(\mathrm{H_2O}) = 2 \cdot \frac{1{,}44\mathrm{g}}{(2 \cdot 1{,}008 + 16{,}00)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 0{,}159857\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{C}) = n(\mathrm{H}) = 0{,}059986\ \mathrm{mol} : 0{,}159857\ \mathrm{mol}$$

$$= 1 : 2{,}664905$$

$$= 3 : 7{,}99$$

Suhdekaava on siten $(\mathrm{C_3H_8O_x})_n$.

Suhdekaavasta nähdään, ettei n voi olla enempää kuin 1, sillä tätä suuremmilla arvoilla vetyatomien suhde hiiliatomien määrään kasvaisi liian suureksi. Lasketaan hapen määrä moolimassan avulla:

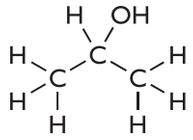
$$M(\text{alkoholi}) = 3 \cdot 12{,}01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 8 \cdot 1{,}008 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + x \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 60 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

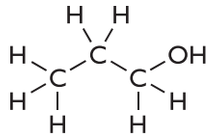
$$x = \frac{(60 - 36{,}03 - 8{,}064)\frac{\text{g}}{\text{mol}}}{16{,}00 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}994 \approx 1$$

a) Suhdekaava on siten $(C_3H_8O)_n$ tai C_3H_8O.

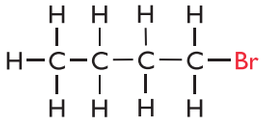
b) Molekyylikaava on C_3H_8O.

c) Mahdollisia rakennekaavoja on kaksi:

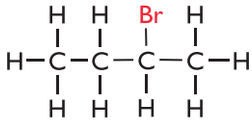




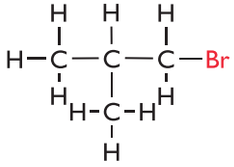
99.



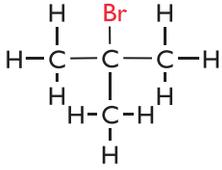
1-bromibutaani



2-bromibutaani

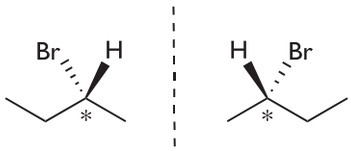


1-bromi-2-metyylipropaani



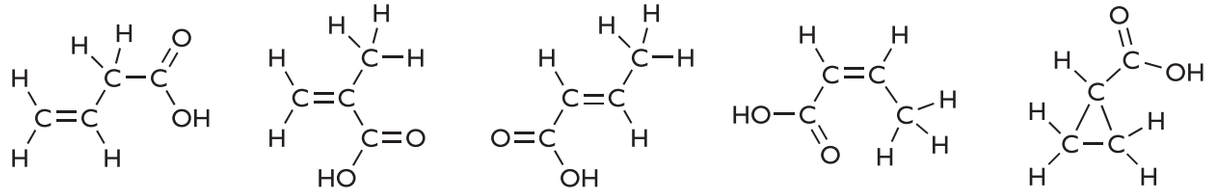
2-bromi-2-metyylipropaani

2-bromibutaanilla on yksi kiraliakeskus, joten sillä voi olla kaksi enantiomeeria:



100.

Yhdisteellä on viisi erilaista isomeerista muotoa.



a) Isomeereissä, joissa on kaksoissidos hiiliatomien välillä, kaksoissidoksella yhteen liittyneet hiiliatomit ovat sp^2-hybridisoituneita. Lisäksi kaksoissidoksella happiatomiin liittynyt hiiliatomi on sp^2-hybridisoitunut eli yhteensä sp^2-hybridisoituneita hiiliatomia on kolme. Rengasrakenteisessa yhdisteessä kaikki muut hiiliatomit ovat sp^3-hybridisoituneita paitsi kaksoissidoksella happiatomiin liittynyt hiiliatomi, joka on sp^2-hybridisoitunut.

b) Yhdisteet, joissa hiiliatomien välillä on kaksoissidos, ovat tyydyttymättömiä yhdisteitä. Koska yhdisteet sisältävät hiili- ja vetyatomien lisäksi happiatomeja, kyseiset yhdisteet eivät ole hiilivetyjä.

c) Yhdisteisiin ei muodostu kiraliakeskusta eli hiiliatomia, johon on liittynyt neljä erilaista ryhmää. Siten yhdisteillä ei ole eri enantiomeerisia muotoja, eivätkä ne näin ollen ole optisesti aktiivisia.

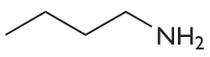
101.

A butaani

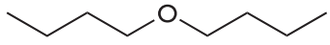
B but-1-eeni

C but-2-yyni

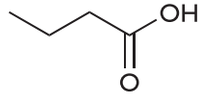
D butan-2-oli



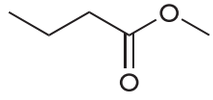
E butyyliamiini



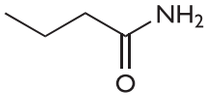
F dibutyylieetteri



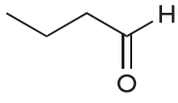
G butaanihappo



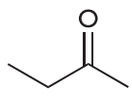
H metyylibutanaatti
(metyylibutanoaatti)
butaanihapon metyyliesteri



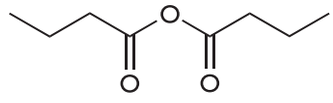
I butaaniamidi



J butanaali



K butan-2-oni

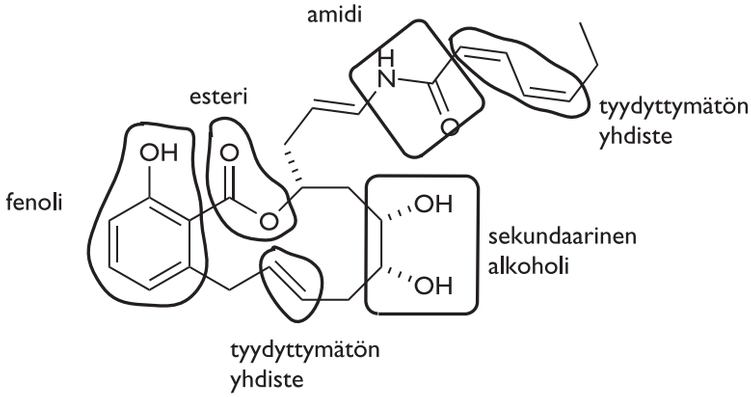


L butaanihappoanhydridi

Huom! Esteri nimetään alkyylialkanaattina. Kuitenkin esimerkiksi virallisissa dokumenteissa ja lakiteksteissä muoto ”alkyylialkanoaatti” (esim. metyylibutanoaatti) on vallitseva termi. Esterin nimi on tällöin suomennettu englanninkielisestä nimestä, jossa o-kirjain tulee karboksyylihapon nimestä: butaanihappo on englanniksi ”butanoic acid” ja tästä suolan tai esterin pääte on ”butanoate”.

102.

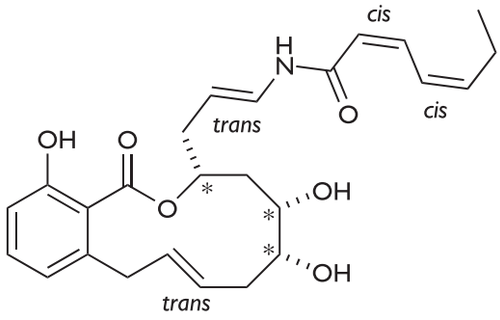
a)



Huom! Salisyylihalamidi A:ta ei saa kutsua alkeeniksi, koska alkeeni on yhden C=C kaksoissidoksen sisältävä hiilivety, joka sisältää vain hiili- ja vetyatomeja. Salisyylihalamidi A sisältää muitakin atomeja kuin hiili- ja vetyatomeja. Alkeenin sijaan yhdistettä voi kutsua esimerkiksi tyydyttymättömäksi yhdisteeksi.

b) ja c)

Yhdisteellä on kolme asymmetria- eli kiraliakeskusta. Kaksoissidoksen takia yhdisteellä on myös *cis-trans*-isomeriaa.



6 Orgaaniset yhdisteet

Ylioppilas- ja pääsykoetehtävien 103–114 ratkaisut

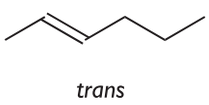
103.

a) A: heks-2-eeni (2-hekseeni)

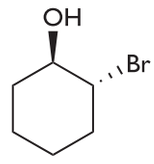
B: 3-metyylibutanaali

C: 2-bromisykloheksanoli

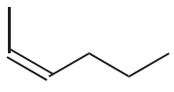
b) Yhdisteessä A on kaksoissidos ja yhdisteessä C on rengasrakenne, jotka ovat edellytyksiä *cis-trans*-isomerialle.



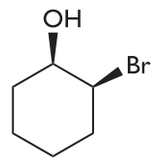
trans



trans



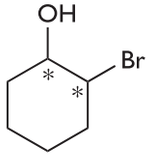
cis



cis

A C

c) Asymmetrisiä hiiliatomeja löytyy vain yhdisteestä C. Sillä on siis optista isomeriaa.



C

104.

a) Oletetaan, että
$m(\text{suola}) = 100\ \text{g}$

$$n(\text{C}) = \frac{m}{M} = \frac{43{,}8\ \text{g}}{12{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3{,}64696\ \text{mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{11{,}0\ \text{g}}{1{,}008\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 10{,}912698\ \text{mol}$$

$$n(\text{N}) = \frac{12{,}9\ \text{g}}{14{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}92077\ \text{mol}$$

$$n(\text{Cl}) = \frac{32{,}3\ \text{g}}{35{,}45\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}911142\ \text{mol}$$

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{N}) : n(\text{Cl}) \approx 4 : 12 : 1 : 1$$

Suolan empiirinen kaava on $(C_4H_{12}NCl)_x$.

Kun amiini muodostaa suolan, siihen liittyy vetyioni ja kloridi-ioni. Lähtöaineena olevan amiinin empiirinen kaava on siten $(C_4H_{11}N)_x$. Ratkaistaan x moolimassan avulla

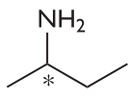
$$x \cdot \left(4 \cdot 12{,}01 + 12 \cdot 1{,}008 + 14{,}01 + 35{,}45\right) \frac{\text{g}}{\text{mol}} = x \cdot 73{,}138\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Koska amiinin moolimassa on alle 120 g/mol, x:n täytyy olla 1.

Amiinin molekyylikaava on siis $C_4H_{12}N$.

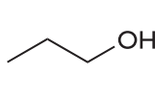
a) Reaktioyhtälö on $C_4H_{11}N + HCl \rightarrow C_4H_{12}NCl$.

b) Optisesti aktiivisessa yhdisteessä on asymmetrinen hiiliatomi eli hiiliatomi, johon on liittyneenä neljä erilaista atomia tai atomiryhmää. Asymmetrinen hiiliatomi eli kiraliakeskus merkitään tähdellä.



105.

a) Paikkaisomeereilla ero on toiminnallisen ryhmän paikassa molekyylissä, esimerkiksi propan-1-oli ja propan-2-oli (isopropanoli).

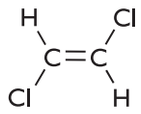


propan-1-oli

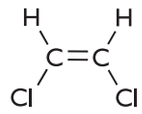
propan-2-oli

b) *cis-trans* -isomeereillä ero on kaksoissidoksen hiiliatomeissa. Kummassakin sidoksen hiiliatomissa on kaksi samaa ja kaksi erilaista ryhmää, esim.

trans-1,2-dikloorieteeni ja *cis*-1,2-dikloorieteeni:

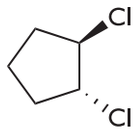


trans-1,2-dikloorieteeni

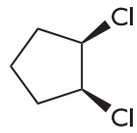


cis-1,2-dikloorieteeni

Rengasrakenteisilla yhdisteillä kaksi ryhmää voi olla samalla tai eri puolilla rengasta:



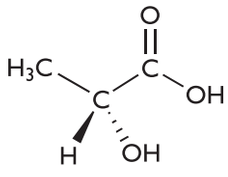
trans-1,2-dikloorisyklopentaani



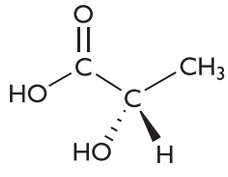
cis-1,2-dikloorisyklopentaani

c) Optista isomeriaa on yhdisteillä, joissa on asymmetrinen hiiliatomi eli kiraliakeskus. Asymmetriseen hiiliatomiin on liittyneenä neljä erilaista atomia tai atomiryhmää. Esim.

2-hydroksipropaanihappo eli maitohappo

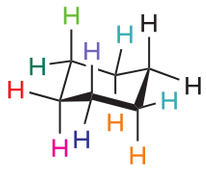


D-maitohappo

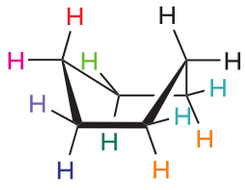


L-maitohappo

d) Konformaatioisomeerejä syntyy yksinkertaisen sidoksen kiertyessä, esim. sykloheksaanin tuoli- ja venemuoto.



tuolimuoto

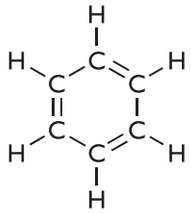


venemuoto

e) Poolittomissa molekyyleissä ei ole pysyviä napoja. Esimerkiksi hiilidioksidimolekyyli on muodoltaan symmetrinen ja muoto estää napojen syntymisen, vaikka molekyylissä on kaksi hiili- ja happiatomin välistä poolista kaksoissidosta.

O=C=O

f) Esimerkiksi bentseenimolekyyli on rakenteeltaan tasomainen.



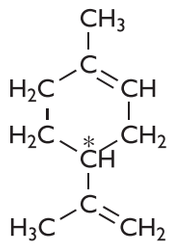
106.

a) Aine on rengasrakenteinen, tyydyttymätön hiilivety.

b) Rengasrakenne ei ole tasomainen. Rengasrakenteessa on viisi yksinkertaista hiili-hiili-sidosta, jotka mahdollistavat konformaatioisomeerit.

c) *cis-trans*-isomeriaa ei esiinny, sillä sivuketjun toisessa kaksoissidokseen osallistuvassa hiiliatomissa on liittyneenä kaksi vetyatomia. Renkaassa oleva kaksoissidos ei aiheuta *cis-trans*-isomeriaa, koska rengas ei pienikokoisuutensa vuoksi pysty vääntymään *trans*-isomeerin edellyttämään muotoon. Suurilla renkailla *trans*-isomeria on mahdollinen, ks. esimerkiksi tehtävä 102 c.

d) Yhdisteessä on optista aktiivisuutta, koska molekyylissä on asymmetrinen hiiliatomi, josta lähtee neljä erilaista liittynyttä ryhmää. Asymmetrinen hiiliatomi on merkitty tähdellä.



107.

a) Koska kyseessä on hiilivety, yhdisteessä on 100 % – 82,7 % = 17,3 % vetyä.

Otetaan 100,0 g yhdistettä. Tässä määrässä hiiltä on 82,7 g ja vetyä 17,3 g.

$$n(\mathrm{C}) = \frac{82{,}7\ \mathrm{g}}{12{,}01\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 6{,}88593\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{H}) = \frac{17{,}3\ \mathrm{g}}{1{,}008\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 17{,}1627\ \mathrm{mol}$$

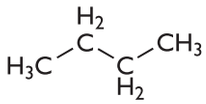
Ainemäärien suhde 6,88593 : 17,1627 = 1 : 2,49243 ≈ 2 : 5.

Empiirinen kaava eli suhdekaava on tällöin C_2H_5 tai $(C_2H_5)_n$.

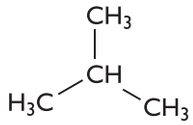
Ainemäärä *n* ei voi olla 1, koska hiilivetyjen pysyvillä rakenteilla vetyatomeja ei voi olla pariton määrä. Ainemäärä *n* voi olla 2. Sitä suuremmat arvot eivät myöskään ole mahdollisia, sillä silloin vetyatomeja tulee liikaa suhteessa hiiliatomeihin.

Ainoa mahdollinen molekyylikaava on siis C_4H_{10}.

b) Isomeerien rakennekaavat ovat



n-butaani



2-metyylipropaani

108.

a) A ja E

b) D ja F

c) D ja F

d) A ja E

e) A, C ja E

f) A ja C

109.

$m(C_6H_6) = 5{,}00$ g

$m(HCl) = 4{,}67$ g

Reaktioyhtälö

$$C_6H_6 + x \cdot Cl_2 \rightarrow C_6H_{6-x}Cl_x + x \cdot HCl$$

$$n(C_6H_6) = \frac{m}{M} = \frac{5{,}00\ \text{g}}{(6 \cdot 12{,}01 + 6 \cdot 1{,}008)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}06401\ \text{mol}$$

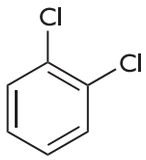
$$n(HCl) = \frac{4{,}67\ \text{g}}{(1{,}008 + 35{,}45)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}12809\ \text{mol}$$

eli $n(HCl) = 2 \cdot n(C_6H_6)$

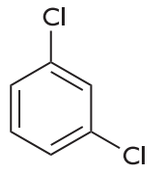
joten reaktioyhtälö kertoimineen on

$$C_6H_6 + 2\ Cl_2 \rightarrow C_6H_4Cl_2 + 2\ HCl.$$

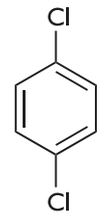
Aine A on 1,2-diklooribentseeni, 1,3-diklooribentseeni tai 1,4-diklooribentseeni.



1,2-dikloori-
bentseeni

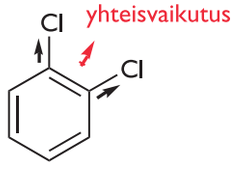


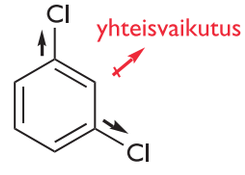
1,3-dikloori-
bentseeni

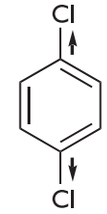


1,4-dikloori-
bentseeni

1,4-diklooribentseenimolekyylissä klooriatomit vetävät sidoselektroneja vastakkaisiin suuntiin, joten ne kumoavat toistensa vaikutuksen. Molekyyli on siten pooliton, vaikka yksittäiset C–Cl-sidokset ovat poolisia.







Klooriatomit vetävät sidoselektroneja samalla voimakkuudella vastakkaisiin suuntiin kumoten toistensa vaikutuksen.

110.

a kofeiini + b O_2 → c CO_2 + d H_2O + e N_2

$$n(CO_2) = \frac{0{,}682\ \text{g}}{(12{,}01 + 2 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}015496\ \text{mol}$$

$$n(H_2O) = \frac{0{,}174\ \text{g}}{(2 \cdot 1{,}008 + 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}0096581\ \text{mol}$$

$$n(N_2) = \frac{0{,}110\ \text{g}}{(2 \cdot 14{,}01)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}0039257\ \text{mol}$$

Tarkastellaan, mikä on eri alkuaineiden atomien määrä yhdisteissä.

$n(C_{kofeiini}) = n(CO_2) = 0{,}015496$ mol

$n(H_{kofeiini}) = 2 \cdot n(H_2O) = 0{,}019316$ mol

$n(N_{kofeiini}) = 2 \cdot n(N_2) = 0{,}0078515$ mol

$n(O_{kok}) = n(H_2O) + 2 \cdot n(CO_2) = (0{,}0096581 + 2 \cdot 0{,}015496)$ mol $= 0{,}0406501$ mol

Reagoineen happikaasun määrä

$m(O_2) = 0{,}682$ g + 0,174 g + 0,110 g − 0,376 g = 0,59 g

$$n(O_2) = \frac{0{,}59\ \text{g}}{2 \cdot 16{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}0184375\ \text{mol.}$$

Kofeiinissa olevan hapen ainemäärä

$n(O_{kok}) - 2 \cdot n(O_2) = 0{,}0406501$ mol − 2 · 0,0184375 mol = 0,0037751 mol.

$n(C) : n(H) : n(N) : n(O)$

= 0,015496 : 0,019316 : 0,0078505 : 0,0037751

= 8 : 10 : 4 : 2

Molekyylikaava on siten $C_8H_{10}N_4O_2$.

Tasapainotetaan reaktio:

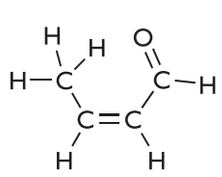
$C_8H_{10}N_4O_2 + 9{,}5\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 5\ H_2O + 2\ N_2$

$2\ C_8H_{10}N_4O_2 + 19\ O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 10\ H_2O + 4\ N_2$.

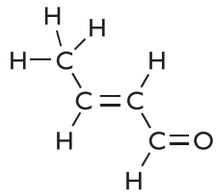
111.

Koska yhdisteellä C_4H_6O on *cis-trans*-isomeriaa, siinä täytyy olla kaksoissidos ja kaksoissidoksen täytyy olla keskellä molekyyliä niin, että samaan hiiliatomiin liittyneet ryhmät eivät ole samoja. Kaksoissidoksen on siis oltava toisessa hiiliatomissa neljän hiiliatomin muodostamassa ketjussa. *Cis*-muodossa vedyt ovat samalla puolella ja *trans*-muodossa eri puolilla kaksoissidosta. Lisäksi molekyylissä on oltava tehtävän annon mukaan myös aldehydiryhmä –CHO. Rakennekaavat ovat siis

A



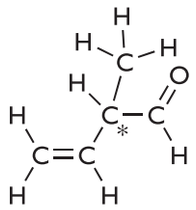
cis



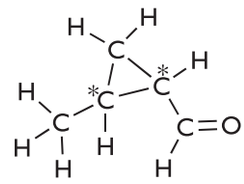
trans

Optinen aktiivisuus tarkoittaa, että yhdisteellä on erilaisia enantiomeerisiä muotoja. Molekyylissä on siis oltava vähintään yksi kiraliakeskus, jossa hiiliatomiin on liittynyt neljä erilaista ryhmää. Koska molekyylikaavassa vetyatomien määrä suhteessa hiiliatomien määrään ei ole yli kaksinkertainen, molekyylissä on joko kaksois- tai kolmoissidoksia tai rengasrakenne. Kolmoissidos ei ole kuitenkaan mahdollinen, koska molekyylissä on kaksoissidoksellinen aldehydiryhmä. Mahdollisia ratkaisuja ovat siis:

B



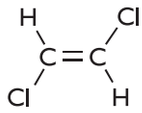
tai



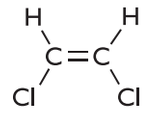
112.

Yhdisteillä voi esiintyä *cis-trans*-isomeriaa, jos yhdisteen molekyylissä on kaksoissidoksen muodostavat hiiliatomit, joissa on kaksi samaa ja kaksi erilaista ryhmää.

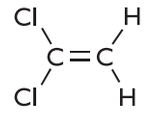
cis-trans-isomeriaa voi esiintyä myös rengasrakenteisilla yhdisteillä, joissa renkaaseen liittyneet kaksi ryhmää ovat joko samalla tai eri puolilla rengasta. Kysytyt yhdisteet ovat *trans*-1,2-dikloorieteeni, *cis*-1,2-dikloorieteeni ja 1,1-dikloorieteeni.



trans-1,2-dikloorieteeni



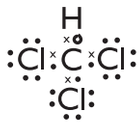
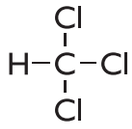
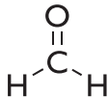
cis-1,2-dikloorieteeni



1,1-dikloorieteeni

C–H-sidokset ja C–Cl-sidokset ovat heikosti poolisia. *Trans*-1,2-dikloorieteenimolekyyli on symmetrinen, joten sidosten heikosta poolisuudesta huolimatta se on pooliton.

113.

Yhdiste	Lewisin kaava	Rakennekaava	Hybridisaatio(t) ja geometria(t)	Polaarisuus
CS_2		S=C=S	Hiili sp-hybridisoitunut, molekyyli lineaarinen.	Pooltion. Kaksi heikosti polaarista sidosta päinvastaisiin suuntiin kumoavat toistensa vaikutuksen.
$CHCl_3$			Hiili sp^3-hybridisoitunut, tetraedrinen.	Poolinen. Poolisten sidosten vaikutukset eivät kumoudu.
HCN		H−C≡N	Hiili sp-hybridisoitunut, molekyyli lineaarinen.	Poolinen. Poolisten sidosten vaikutukset eivät kumoudu.
CH_2O			Hiili sp^2-hybridisoitunut, molekyyli tasomainen, sidoskulmat n. 120°.	Poolinen. Poolisten sidosten vaikutukset eivät kumoudu.

114.

$HCOOH + HOR \rightarrow HCOOR + H_2O$

a) Esterin –COO- ryhmässä on kaksi happiatomia. Jos nämä kaksi happiatomia ovat 31,3 *m*-% koko esterin moolimassasta, esterin moolimassa voidaan laskea:

$$M(\text{esteri}) = \frac{M(2 \cdot \text{O})}{31{,}3\,\%} \cdot 100\,\% = \frac{32{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0{,}313} = 102{,}2364\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}.$$

R:n moolimassa

$$M_{\text{R}} = (102{,}2364 - 32{,}00 - 12{,}01 - 1{,}008)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 57{,}2184\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}.$$

Koska reagoiva alkoholi on tyydyttynyt, R:n kaava on muotoa

C_nH_{2n+1}

$$\Rightarrow 12{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot n + 1{,}008\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot (2n+1) = 57{,}2184\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

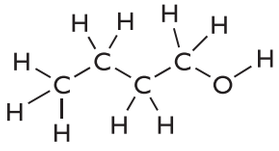
$$\Rightarrow n = 4$$

$\Rightarrow$ R on C_4H_9.

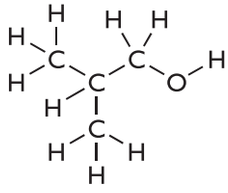
Esterin molekyylikaava: $C_5H_{10}O_2$ ($HCOOC_4H_9$)

Alkoholin molekyylikaava: $C_4H_{10}O$ (C_4H_9OH)

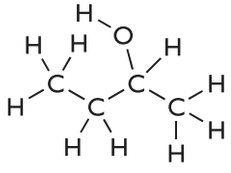
b)



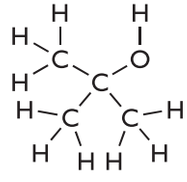
1-butanoli
butan-1-oli



2-metyyli-1-propanoli
2-metyylipropan-1-oli
isobutanoli



2-butanoli
butan-2-oli



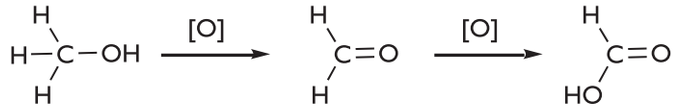
2-metyyli-2-propanoli
2-metyylipropan-2-oli
tert-butanoli
tert-butyylialkoholi

7 Orgaanisten yhdisteiden reaktioita

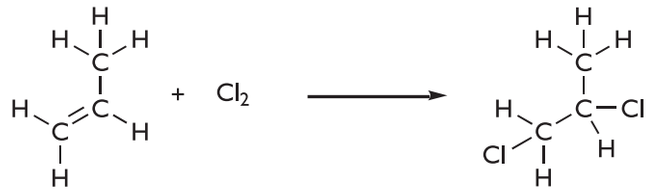
Tehtävien 115–121 ratkaisut

115.

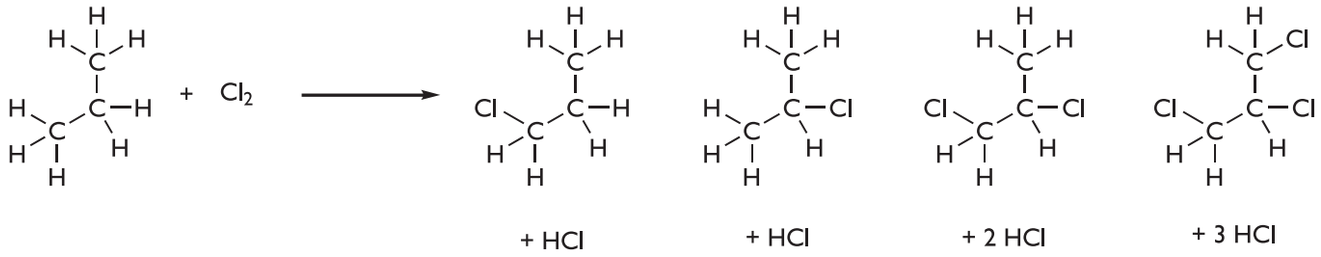
a)



b)



c)



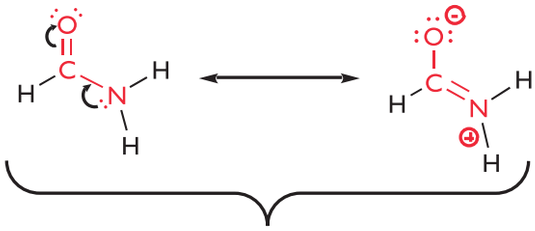
Mikä tahansa vetyatomi voi korvautua, ja lopputuloksena syntyy lopputuotteiden seos. Seoksen koostumus riippuu mm. reaktion lämpötilasta, kloorin määrästä ja reaktioajasta. Yllä olevassa kuvassa on joitakin tuotevaihtoehtoja.

116.

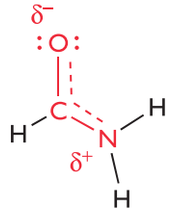
a) Parasetamoli sisältää fenolisen hydroksyyliryhmän (bentseenirenkaaseen liittynyt hydroksyyliryhmä) ja amidiryhmän. Ibuprofeenissa on bentseenirenkaan lisäksi karboksyyliryhmä.

b) Parasetamolin fenolinen hydroksyyliryhmä voi toimia happona eli luovuttaa protonin (H^+-ioni). Ibuprofeenin karboksyyliryhmä voi myös luovuttaa protonin, eli ibuprofeenikin voi toimia happona. Kummassakaan molekyylissä ei ole emäksistä aminoryhmää, joten ne eivät voi toimia emäksinä.

Huom! Amidin typpi ei ole emäs, eli se ei voi vastaanottaa protonia. Syyn selittäminen on lukiokurssien ulkopuolista asiaa. Amidisidoksessa tapahtuu elektronien delokalisaatio (vrt. bentseenirengas), joskaan elektronit eivät jakaudu atomien välille yhtä tasaisesti kuin bentseenirenkaassa. Siten typpiatomin vapaa elektronipari, joka amiineilla vastaanottaisi protonin, ei ole amideilla käytettävissä protonin vastaanottoon:

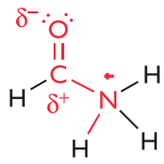


Todellinen amidisidoksen rakenne on jossakin kohdassa näiden kahden rajarakenteen välissä.



Todellinen rakenne on tämäntapainen. Katkoviiva kuvaa delokalisoituja elektroneja.

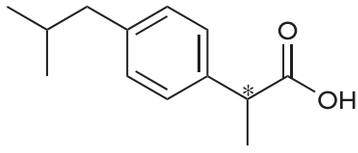
Lisäksi jos amidin typpi vastaanottaisi protonin, typpiatomille tulisi positiivinen varaus. Karbonyyliryhmän hiiliatomi on myös elektroniköyhä (δ^+-varaus). Siten kaksi positiivista varausta olisi lähekkäin. Tällainen rakenne ei muodostu helposti:



kaksi lähekkäin olevaa positiivista varausta

Delokalisaation seurauksena amidin C–N sidoksessa on osittainen kaksoissidosluonne, eikä C–N sidos kierry, kuten yksinkertaiset sidokset. Aminohappojen välinen peptidisidos on amidisidos, ja amidisidokset jäykistävät proteiinin rakennetta, koska kiertyminen peptidisidosten C–N-sidosten ympäri on estynyt.

c) Ibuprofeenissa on asymmetriakeskus, jonka seurauksena syntyy enantiomeeripari. Ibuprofeeni myydään enantiomeerien seoksena (1:1) eli rasemaattina.

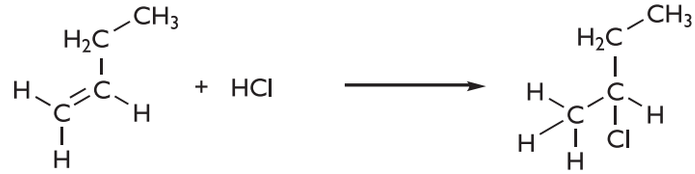


ibuprofeeni

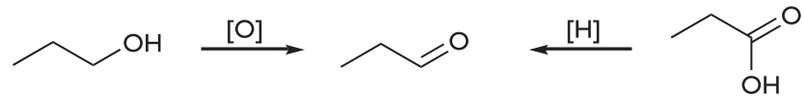
117.

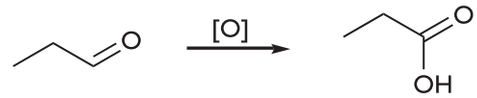
a)

b)

c) 

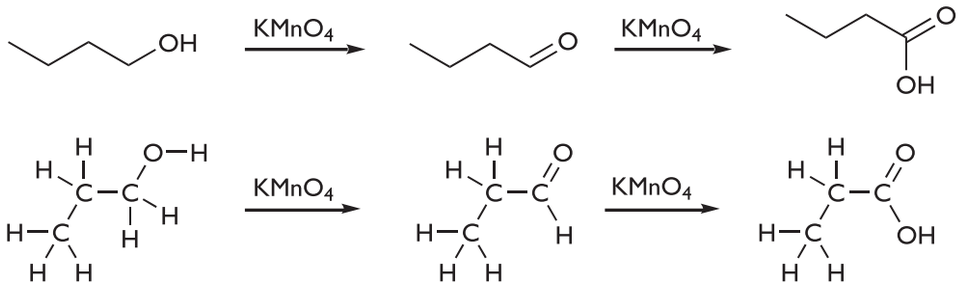
d) $CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$

e) 

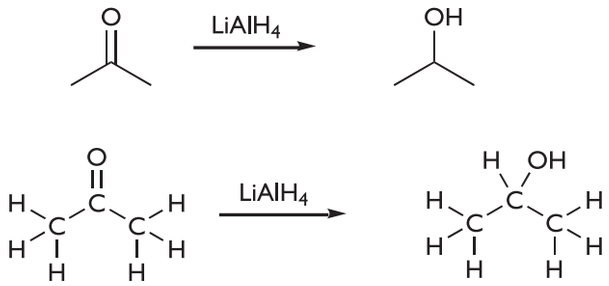
f) 

118.

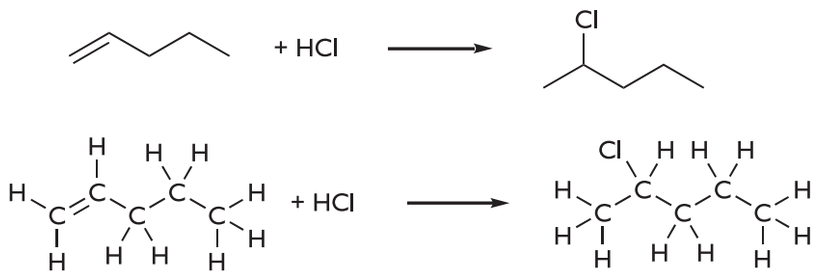
a)


OH
KMnO4
O
KMnO4
O
OH
KMnO4
KMnO4
OH

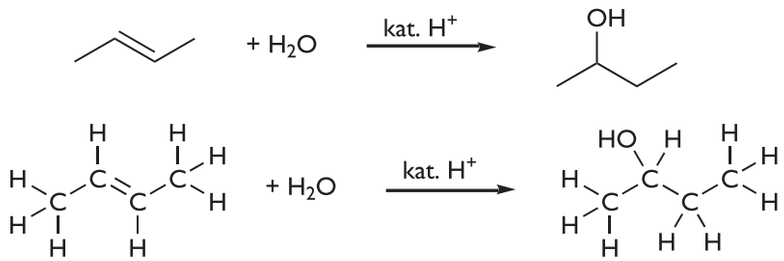
b)


O
LiAlH4
OH
LiAlH4
OH

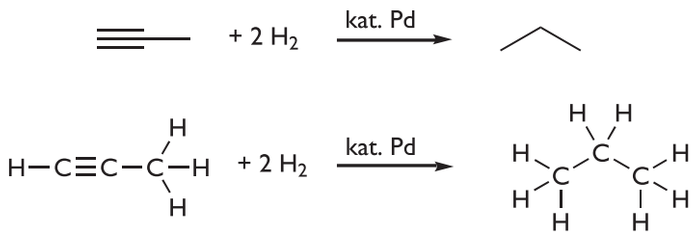
c)


+ HCl
Cl
+ HCl
Cl

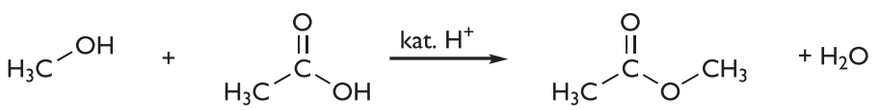
d)


+ H2O
kat. H+
OH
+ H2O
kat. H+
HO

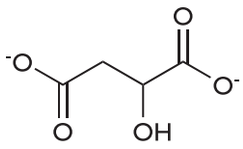
e)

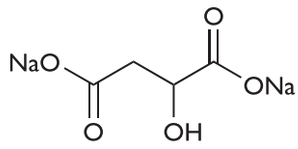

+ 2 H2
kat. Pd
+ 2 H2
kat. Pd

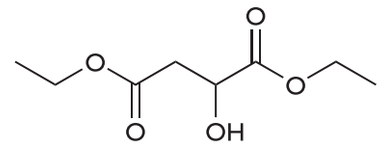
f)

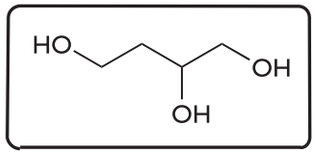

OH
H3C
+
O
H3C
OH
kat. H+
O
H3C
CH3
+ H2O

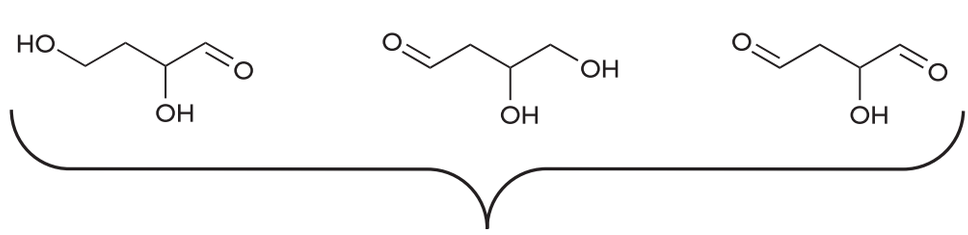
119.

a) 

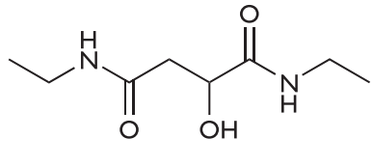
b) 

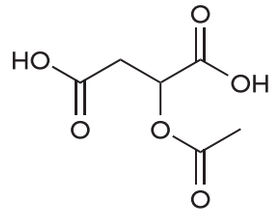
c) 

d) 



Välituotteina syntyviä aldehydejä ei ole mahdollista eristää reaktioseoksesta. Reaktio etenee hyvin nopeasti vasemmalla esitetyksi trioliksi.

e) 

f) 

120.

a) Kaikissa syntyy hiilidioksidia ja vettä.

b) Lasketaan, paljonko alkuperäisessä näytteessä on kutakin alkuainetta. Muista ottaa huomioon, montako kunkin alkuaineen atomia kussakin palamistuotteessa on! Esimerkiksi vedyn määrä kerrotaan kahdella, koska vesimolekyylissä on kaksi vetyatomia eli veden ainemäärä on puolet pienempi kuin vetyatomien ainemäärä alkuperäisessä näytteessä. Hapen massa saadaan vähentämällä muiden alkuaineiden massat alkuperäisen näytteen massasta.

Hiili: $5{,}439\ \text{g} \cdot \dfrac{12{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{44{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1{,}4842624404\ \text{g}$

Vety: $2 \cdot 1{,}392\ \text{g} \cdot \dfrac{1{,}008\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{18{,}016\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}1557655417\ \text{g}$

Typpi: 0,8655 g

Happi: 3,000 g – (1,48426 g + 0,15577 g + 0,8655 g) = 0,4944720179 g

Lasketaan, montako moolia kutakin alkuainetta yhdisteessä on:

$$\text{Hiili: } \frac{1,4842624404\ \text{g}}{12,01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,1235855487\ \text{mol}$$

$$\text{Vety: } \frac{0,1557655417\ \text{g}}{1,008\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,1545293073\ \text{mol}$$

$$\text{Typpi: } \frac{0,8655\ \text{g}}{14,01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0617773019\ \text{mol}$$

$$\text{Happi: } \frac{0,4944720179\ \text{g}}{16,00\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0309045011\ \text{mol}$$

Kun muut ainemäärät jaetaan pienimmällä (happi), nähdään, että suhteet ovat noin 4 : 5 : 2 : 1 eli empiirinen kaava on $C_4H_5N_2O$. Tällä kaavalla moolimassaksi tulisi 97,1 g/mol. Tämä on noin puolet tehtävänannossa kerrotusta moolimassasta, eli molekyylikaava on $C_8H_{10}N_4O_2$.

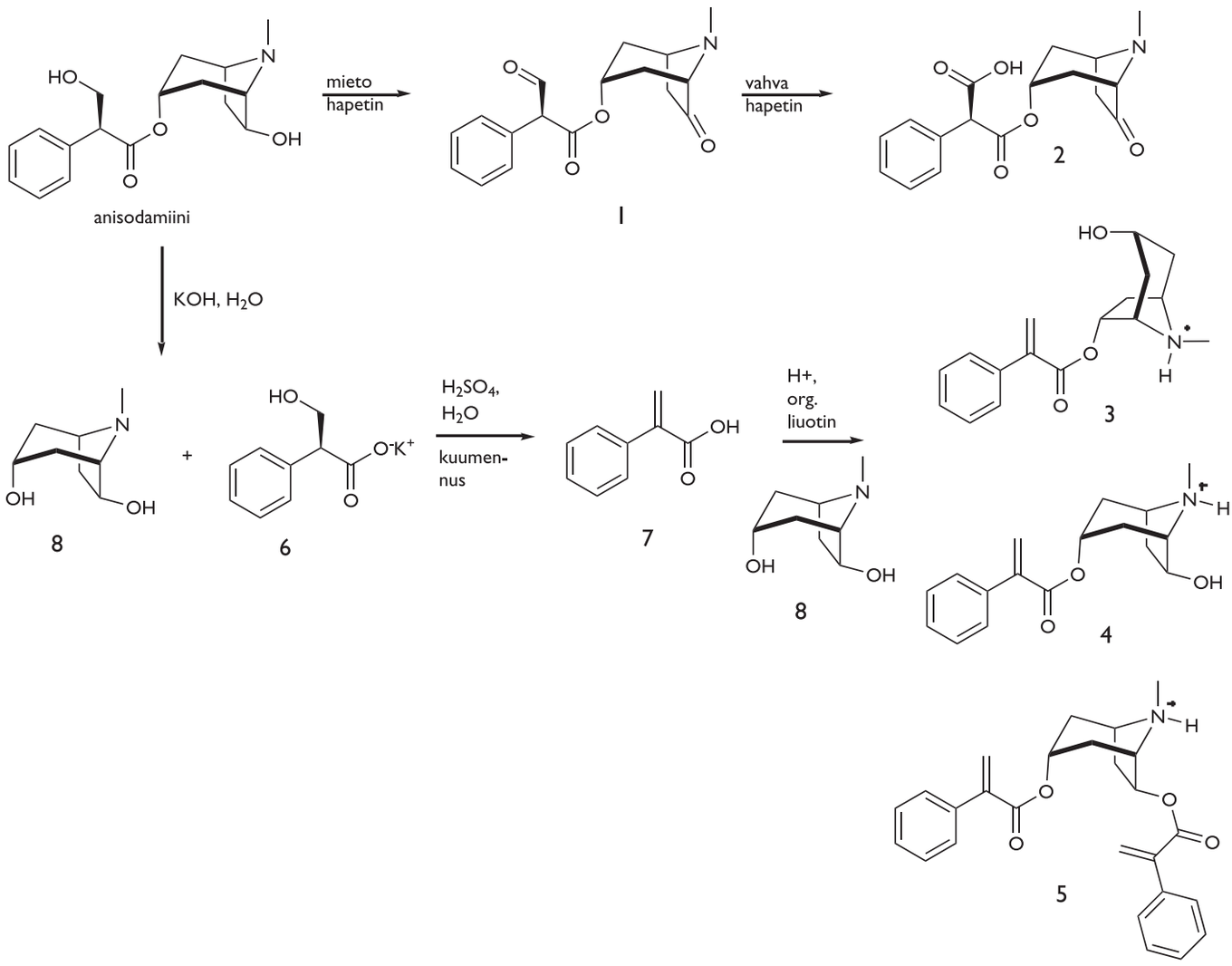
Vastaus: $C_8H_{10}N_4O_2$.

c) Koska kaikki happi ei ole peräisin kofeiinista vaan myös ilmasta (tai missä sitten poltetaankin).

121.

Hydroksyyliryhmät voivat hapettua: Primäärinen hydroksyyliryhmä hapettuu miedolla hapettimella aldehydiksi ja sekundäärinen ketoniksi, jolloin syntyy yhdiste 1. Käytettäessä vahvaa hapetinta aldehydi hapettuu karboksyyliryhmäksi, jolloin syntyy yhdiste 2.

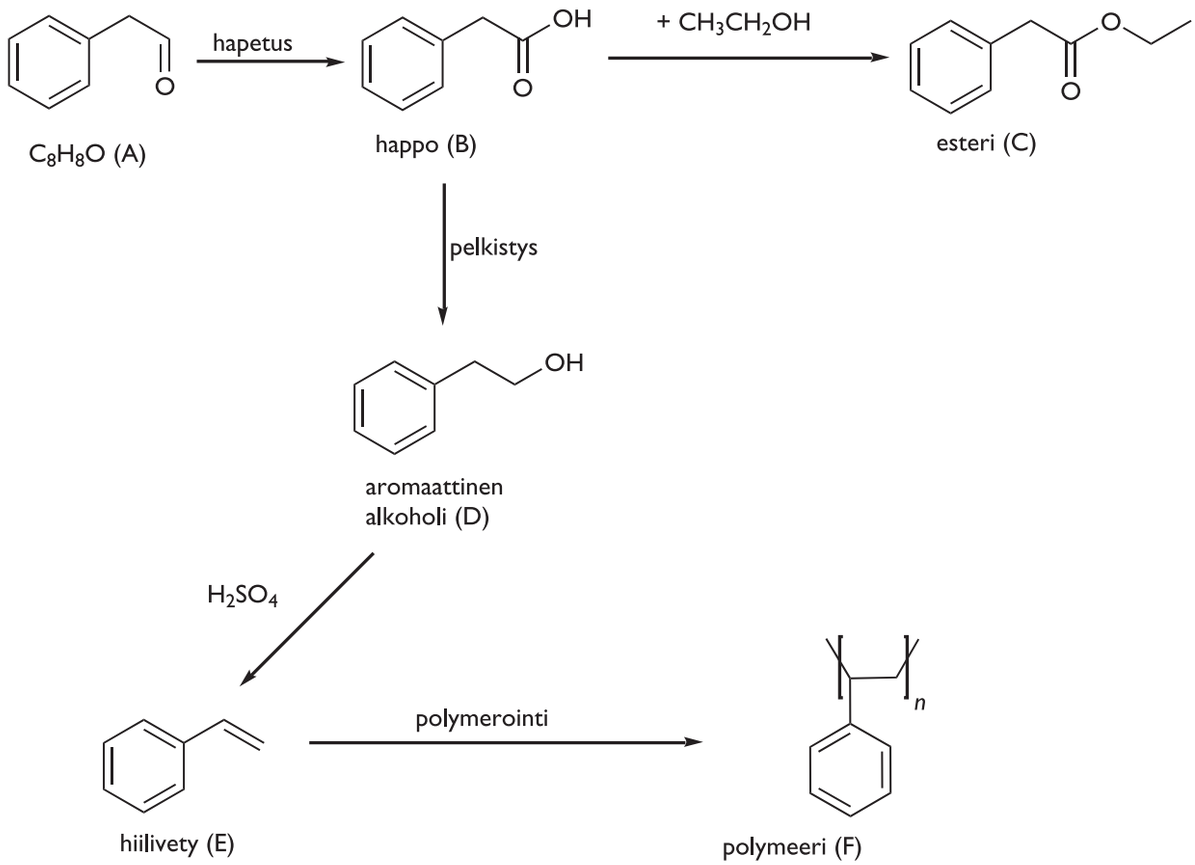
Kaliumhydroksidi (KOH) on vahva emäs, joka katalysoi anisodamiinin esterisidoksen hydrolyysiä. Tällöin syntyy alkoholi 8 ja karboksyylihapon kaliumsuola 6. Kun välituotetta 6 kuumennetaan rikkihapon vesiliuoksessa, tapahtuu eliminaatio, jossa hydroksyyliryhmä poistuu vetenä, ja yhdiste 7 muodostuu. Veden lohkeamiskohtaan jää C=C kaksoissidos. Yhdiste 7 voidaan esteröidä alkoholin 8 kanssa hapon (H^+) katalysoidessa reaktiota. Reaktiossa voi muodostua kolme esterituotetta 3–5 (kaksi monoesteriä ja yksi diesteri), koska yhdisteessä 8 on kaksi hydroksyyliryhmää. Lopputuotteissa 3–5 tertiäärinen amiini on piirretty happomuodossa, koska amiini vastaanottaa protonin happamissa reaktio-olosuhteissa.


mieto
hapetin
vahva
hapetin
anisodamiini
1
2
KOH, H2O
8
6
H2SO4,
H2O
kuumen-
nus
7
H+,
org.
liuotin
8
3
4
5

7 Orgaanisten yhdisteiden reaktioita

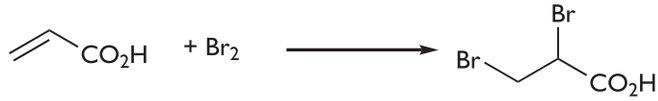
Ylioppilas- ja pääsykoetehtävien 122–132 ratkaisut

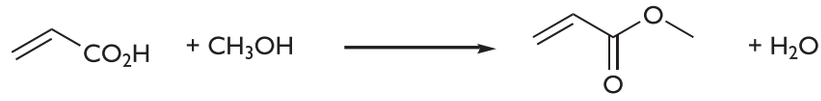
122.

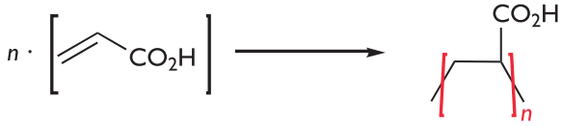


123.

a)

b) 

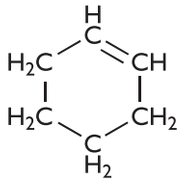
c) 

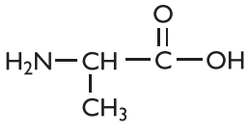
d) 

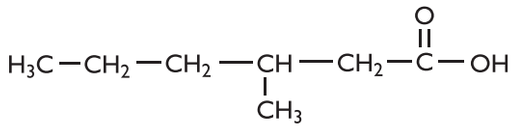
e)

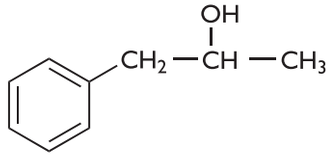
124.

a)

b) 

c) 

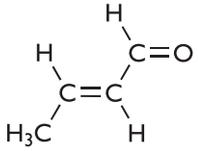
d) 

e) 

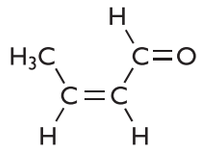
f)

125.

a) Koska krotonialdehydilla tavataan *cis-trans*-isomeriaa, molekyylissä on oltava kaksoissidos.

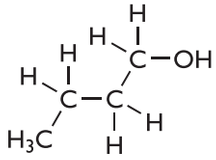


trans-krotonialdehydi



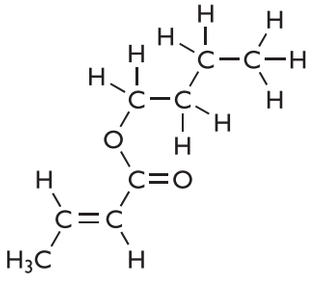
cis-krotonialdehydi

b) Koska hydrauksessa kuluu kaksi moolia vetykaasua, hydrauksessa häviävät C=C-kaksoissidos ja aldehydin C=O-sidos. Isomeereistä syntyy butan-1-olia.

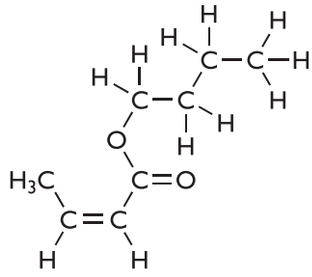


butan-1-oli

c) Aldehydiä hapetettaessa syntyy karboksyylihappoa. Karboksyylihappo reagoi alkoholin kanssa muodostaen esteriä ja vettä.



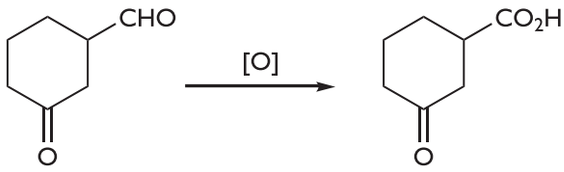
trans



cis

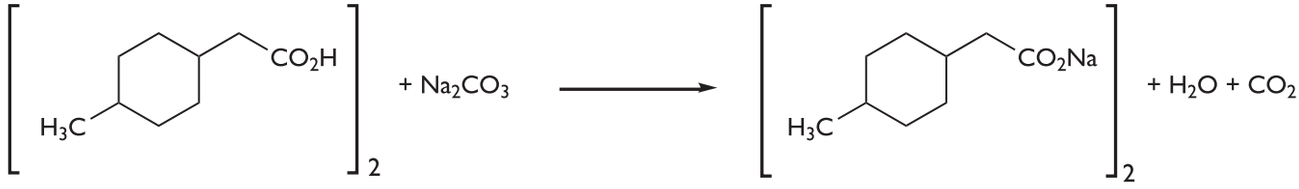
126.

a)

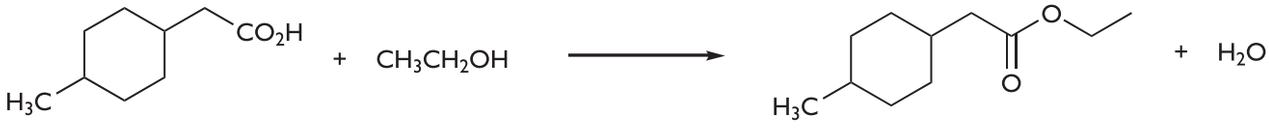


b)

c)



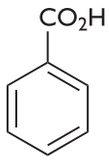
d)



127.

a) Yhdiste A kuuluu aromaattisiin aldehydeihin, B aromaattisiin eettereihin, C fenoleihin ja D aromaattisiin primäärisiin amiineihin.

b) Yhdiste A, joka on aldehydi, hapettuu helposti karboksyylihapoksi.



c) Yhdiste D, joka on emäs, reagoi happojen kanssa muodostaen vesiliukoista suolaa.

d) Yhdiste C, joka on hapan fenoli, reagoi emästen kanssa muodostaen vesiliukoista suolaa.

128.

a) $2\ C_8H_{18}(l) + 25\ O_2(g) \rightarrow 16\ CO_2(g) + 18\ H_2O(l)$

b) $n(CO_2) = 8 \cdot n(C_8H_{18})$

$$n(C_8H_{18}) = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}703\ \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot 1550\text{ml}}{(8 \cdot 12{,}01 + 18 \cdot 1{,}008)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 9{,}5395889\ \text{mol}$$

$$m(CO_2) = n \cdot M = 8 \cdot 9{,}5395889\ \text{mol} \cdot (12{,}01 + 2 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 3358{,}69845\ \text{g} \approx 3360\ \text{g}$$

Vastaus: Hiilidioksidia syntyy 3360 g.

c) $$V(CO_2) = n \cdot V_m = 8 \cdot 9{,}5395889\text{mol} \cdot 22{,}41\ \frac{\text{l}}{\text{mol}} = 1710{,}257\ \text{l} \approx 1710\ \text{l}$$

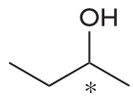
Vastaus: Hiilidioksidin tilavuus on 1710 l.

d) Lämpöenergiaa vapautuu

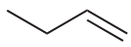
$$\frac{0{,}703\ \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot 1000\ \text{ml}}{(8 \cdot 12{,}01 + 18 \cdot 1{,}008)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 5470\ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 33665{,}51688\ \text{kJ} \approx 33{,}7\ \text{MJ}.$$

Vastaus: Lämpöenergiaa voidaan saada 33,7 MJ.

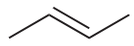
129.



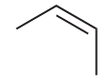
A = butan-2-oli (2-butanoli)



B = but-1-eeni (1-buteeni)



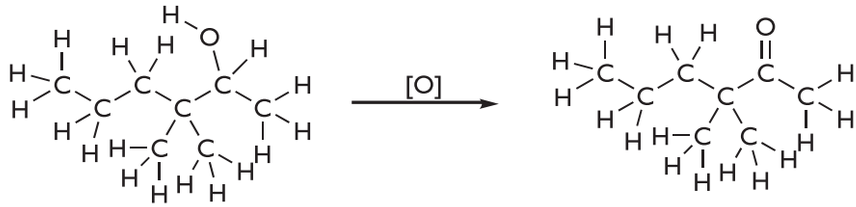
C = *trans*-but-2-eeni (*trans*-2-buteeni) tai



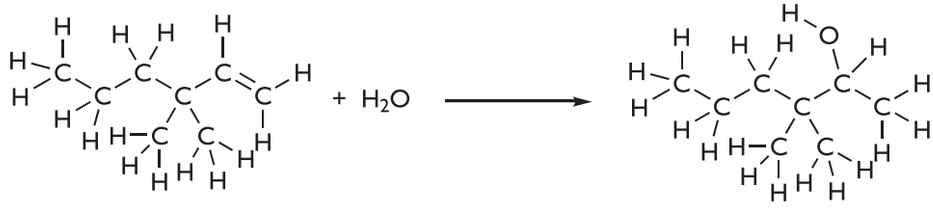
C = *cis*-but-2-eeni (*cis*-2-buteeni)

130.

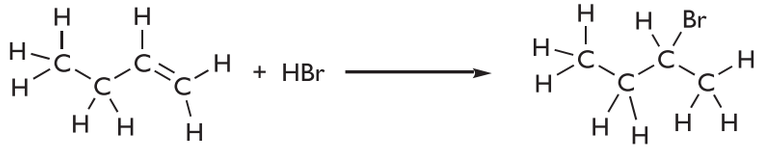
a) 3,3-dimetyyli-2-heksanonia saadaan hapetusreaktiolla alkoholista. Koska tuote on ketoni, on hapettuvan yhdisteen oltava sekundäärinen alkoholi. Tämän alkoholin (Y) nimi on 3,3-dimetyyliheksan-2-oli.



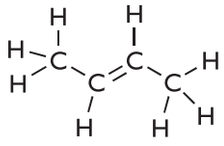
Alkoholi voidaan valmistaa alkeenista, joka reagoi veden kanssa additioreaktiossa. Lähtöaineena on siis 3,3-dimetyyliheks-1-eeni (X).



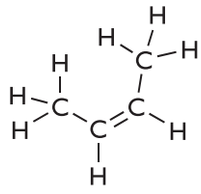
b) 2-bromibutaania voidaan saada but-1-eenista additioreaktiolla.



Myös *cis*-but-2-eenista ja *trans*-but-2-eenista saadaan additioreaktiolla 2-bromibutaania.



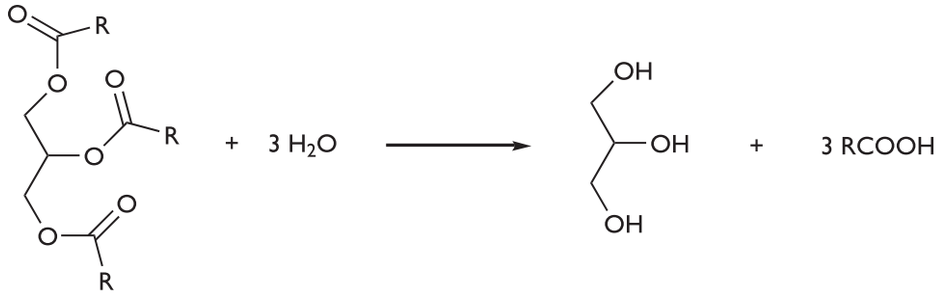
trans-but-2-eeni



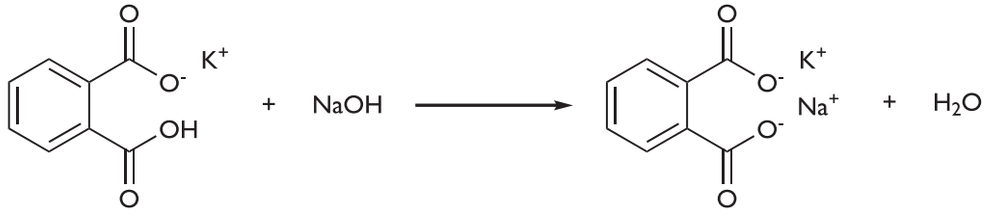
cis-but-2-eeni

131.

Rasvan hydrolyysin reaktioyhtälö:



Rasvahapon ja kaliumvetyftalaatin reaktioiden yhtälöt natriumhydroksidin kanssa:



Rasvahapon moolimassa ja bruttokaava:

$$c(\mathrm{NaOH}) = \frac{n(\mathrm{NaOH})}{V(\mathrm{NaOH})}$$

$$n(\mathrm{NaOH}) = n(\text{K-ftalaatti}) = \frac{m(\text{K-ftalaatti})}{M(\text{K-ftalaatti})}$$

$$c(\mathrm{NaOH}) = \frac{m(\text{K-ftalaatti})}{M(\text{K-ftalaatti}) \cdot V(\mathrm{NaOH})}$$

$$= \frac{217{,}8\ \mathrm{mg}}{204{,}23\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \cdot 10{,}78\ \mathrm{ml}} = 0{,}098928\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}$$

$$M(\text{happo}) = \frac{m(\text{happo})}{n(\text{happo})}$$

$$n(\text{happo}) = n(\mathrm{NaOH}) = V(\mathrm{NaOH}) \cdot c(\mathrm{NaOH})$$

$$M(\text{happo}) = \frac{m(\text{happo})}{V(\text{happo}) \cdot c(\mathrm{NaOH})}$$

$$M(\text{happo}) = \frac{639{,}1\ \mathrm{mg}}{23{,}05\ \mathrm{ml} \cdot 0{,}098928\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}} = 280{,}2713\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \approx 280{,}27\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$

Rasvahappo sisältää yhden karboksyyliryhmän –COOH ja hiiliketjun, jonka jokaisessa hiilessä on 2 vetyä ja päädyssä 3. Näin ollen tyydyttyneen rasvahapon yleinen kaava on muotoa $C_nH_{2n}O_2$. Mahdollisia moolimassoja ovat tällöin C17 : 270,44 g/mol ja C18 : 284,47 g/mol. M(happo) on kuitenkin 280,27 g/mol eli 4 yksikköä pienempi kuin tyydyttynyt rakenne. Tällaisessa molekyylissä täytyy olla neljä vetyä vähemmän, jolloin sen bruttokaava on $C_{18}H_{32}O_2$. Rasvahappo sisältää siis kaksi kaksoissidosta ja on tyydyttymätön rasvahappo.

132.

A a) O

b) O

c) V (Niillä on toisistaan poikkeava atomien lukumäärä, joten ne eivät ole toistensa isomeereja.)

d) V

e) O

B a) V (Niitä on kolme kappaletta.)

b) O

c) O

d) V (Toiminnallisia ryhmiä on viisi.)

e) O

C a) O

b) O

c) O

d) O

e) O

D a) O

b) V

c) O

d) O

8 Kokeellinen kemia

Tehtävien 133–141 ratkaisut

133.

a) Vesi on poolinen aine ja bensiini, hiilivetyjen seos, pooliton. Ne eivät siis liukene toisiinsa vaan jäävät koeputkeen erillisinä kerroksia. Koska bensiinin tiheys on pienempi kuin veden, bensiinikerros jää päällimmäiseksi.

b) Vesi ja etanoli ovat poolisia aineita. Ne liukenevat toisiinsa homogeeniseksi seokseksi ja vesi- ja etanolimolekyylien välille muodostuu vetysidoksia. Liuoksen tilavuus ei ole 100 ml, koska vesi- ja etanolimolekyylit pystyvät menemään limittäin.

c) Natriumkloridi on veteen hyvin liukeneva ioniyhdiste, ja liukenemisen seurauksena syntyy homogeeninen seos. Natriumkloridin liuetessa veteen natrium- ja kloridi-ionien väliset ionisidokset purkautuvat ja muodostuu uusia vesimolekyylien ja ionien välisiä ioni-dipolisidoksia. Koeputken sisältämä seos näyttää kirkkaalta nesteeltä.

d) Natriumkloridi ei liukene poolittomaan bensiiniin. Poolittomat hiilivetymolekyylit eivät pysty menemään ionien väliin ja muodostamaan uusia sidoksia. Tiheämpänä aineena natriumkloridi vajoaa koeputken pohjalle, ja koeputkessa on kiinteän aineen kerros pohjalla ja nestekerros päällä.

134.

a) Propanoni on ketoni ja propanaali on aldehydi. Aldehydit hapettuvat karboksyylihapoiksi, mutta ketonit eivät reagoi vastaavalla tavalla. Kun molempiin koeputkiin lisätään hopeaioneja sisältävää liuosta ja koeputkia lämmitetään vesihauteessa, aldehydiä sisältävään koeputkeen muodostuu seinämille hopeaa hopeaionien pelkistyessä ja aldehydin hapettuessa (hopeapeilikoe).

b) Hiilivetyjen palaessa täydellisesti muodostuu hiilidioksidia ja vettä. Kun lasisauva kastetaan sykloheksaaniin C_6H_{12} ja viedään sen jälkeen esim. kynttilän liekkiin, palaminen tapahtuu kirkkaalla liekillä. Kun lasisauvan avulla poltetaan tolueenia eli metyylibentseeniä C_7H_8, liekki nokeaa, koska kaikki tolueenin sisältämä hiili ei ehdi palamaan samassa ajassa kuin vety.

c) Karbonaatit reagoivat happojen kanssa ja muodostuu hiilidioksidia. Lisätään molempiin koeputkiin laimeaa suolahappoa. Koeputkessa, jossa havaitaan kuplien muodostumista, on kaliumkarbonaattia.

d) Hopeakloridi on veteen niukkaliukoinen yhdiste. Kun molempiin koeputkiin lisätään hopeanitraattia, se koeputki, johon muodostuu valkea saostuma, sisältää natriumkloridia.

e) Ammoniumkloridi on helposti sublimoituva yhdiste. Otetaan molemmista koeputkista pienet keot ainetta metallilevylle, jota lämmitetään. Se yhdiste, joka kuumennettaessa sublimoituu valkeana kaasupilvenä, on ammoniumkloridia. Natriumkloridi voidaan myös tunnistaa liekkikokeella. Liekkikoe tehdään krominikkelilankasilmukan avulla. Silmukka kastetaan suolan vesiliuoksessa niin, että silmukkaan jää liuoskalvo ja silmukka viedään liekkiin. Natrium värjää liekin keltaiseksi.

135.

$$n(\mathrm{MnO_4^-}) = c \cdot V = 14{,}2\ \mathrm{ml} \cdot 0{,}020\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} = 0{,}284\ \mathrm{mmol}$$

$$\frac{n(\mathrm{Fe})}{n(\mathrm{MnO_4^-})} = \frac{5}{1}$$

$$n(\mathrm{Fe}) = 5 \cdot n(\mathrm{MnO_4^-}) = 1{,}42\ \mathrm{mmol}$$

$$m(\mathrm{Fe}) = n \cdot M = 1{,}42\ \mathrm{mmol} \cdot 55{,}85\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 79{,}307\ \mathrm{mg} \approx 79\ \mathrm{mg}$$

$$\frac{79{,}307\ \mathrm{mg}}{130\ \mathrm{mg}} \approx 0{,}61005 \approx 61\ \%$$

Vastaus: Terän rautapitoisuus oli 61 %.

136.

a) Lasketaan tarvittavan natriumhydroksidin määrä.

$$m(\mathrm{NaOH}) = c \cdot V \cdot M = 0{,}150\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 0{,}250\ \mathrm{l} \cdot (22{,}99 + 16{,}00 + 1{,}008)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$$
$$= 1{,}499925\ \mathrm{g}$$
$$\approx 1{,}50\ \mathrm{g}$$

Punnittaessa otetaan huomioon vaa'an tarkkuus.

Vastaus: Natriumhydroksidia on punnittava 1,50 g.

b) Koska laimennettuun liuokseen tarvittava ainemäärä natriumhydroksidia tulee väkevämmästä liuoksesta, käytetään kaavaa $c_1 V_1 = c_2 V_2$, jossa merkitään alaindeksillä 1 väkevämpää liuosta ja alaindeksillä 2 laimeampaa liuosta. Tarvittavan väkevämmän liuoksen määrä:

$$V_1 = \frac{0{,}012\ \mathrm{M} \cdot 100{,}0\ \mathrm{ml}}{0{,}15\ \mathrm{M}} = 8{,}0\ \mathrm{ml}.$$

Mitataan täyspipetillä 8,0 ml väkevämpää liuosta 100 ml:n mittapullon pohjalle ja täytetään mittapullo merkkiin asti tislatulla vedellä.

137.

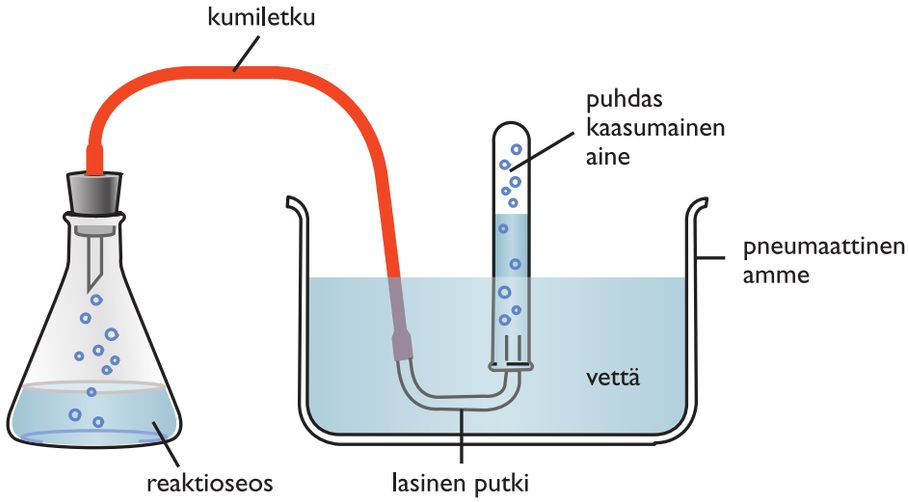
a) Sublimointi ei sovellu puhdistusmenetelmäksi, koska mikään seoksen yhdisteistä ei muutu suoraan kiinteästä aineesta kaasuksi.

b) Tislaus ei käy, koska aspiriini hajoaa kuumennettaessa.

c) Kiteytys esimerkiksi etikkahappo-vesiseoksesta onnistuu. Kun reaktioseos liuotetaan etikkahappo-vesiseokseen ja kuumennetaan kiehuvaksi, kaikki seoksen yhdisteet liukenevat liuottimeen. Jäähdytettäessä aspiriini saostuu, ja se voidaan suodattaa erilleen. (Etikkahapon täydellinen poistaminen edellyttää vielä jatkokiteytystä esimerkiksi etanolin avulla.)

138.

a) Kerättävä kaasu ohjataan veden alla olevaan, täynnä vettä olevaan koeputkeen. Kaasu syrjäyttää koeputkessa olevan veden ja syntyvän kaasun määrää pystytään seuraamaan.



b) Pneumaattinen amme soveltuu veteen huonosti liukenevien kaasujen keräämiseen. Tällaisia kaasuja ovat esimerkiksi happi ja vety. Vetykaasua voidaan valmistaa epäjalosta metallista ja haposta, esimerkiksi sinkistä ja suolahaposta. Happikaasua voidaan valmistaa hajottamalla vetyperoksidin vesiliuosta käyttämällä kaliumjodidia tai mangaanidioksidia katalyyttinä.

139.

Suolapitoisuuden voi määrittää Mohrin titrauksella. Titrausliuoksena on hopeanitraattiliuos ja indikaattorina kaliumkromaattiliuos. Titrauksessa tapahtuu reaktio

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

Lasketaan ensin, mikä määrä makkaraa tarvitaan määritykseen. Sopiva titrausliuoksen kulutus 50 ml:n byretissä on esimerkiksi 20 ml.

$V(AgNO_3) = 20\ \text{ml}$

$n(AgNO_3) = c \cdot V = 2{,}0\ \text{mmol}$

$n(Cl^-) = n(Ag^+) = n(AgNO_3) = n(NaCl)$

$$m(NaCl) = n \cdot M = 2{,}0\ \text{mmol} \cdot (22{,}99 + 35{,}45)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 116{,}88\ \text{mg}$$

Koska makkaran suolapitoisuus on 1,6 %, makkaraa tarvitaan määritykseen

$$\frac{116{,}88\ \text{mg}}{0{,}016} = 7{,}305\ \text{g}.$$

Koska titraus kannattaa tehdä ainakin kolme kertaa, otetaan makkaraa kaiken kaikkiaan 22 g. Pilkotaan makkara pieniksi paloiksi keitinlasiin, johon lisätään tislattua vettä noin 100 ml. Keitetään makkaraa lasisauvalla sekoittaen ja kuumennusvälineitä käyttäen noin viisi minuuttia ja otetaan liuos titrattavaksi, 30 ml jokaiseen titraukseen. 30 ml tutkittavaa liuosta mitataan 30 ml:n mittapipetillä ja liuos laitetaan 100 ml:n keitinlasiin. Byretti huuhdellaan ensin vedellä, sitten titrausliuoksella. Täytetään byretti titrausliuoksella merkkiin asti. Tutkittavaan liuokseen lisätään indikaattoria noin kymmenen pisaraa ja aloitetaan titraus lisäämällä 0,5 ml titrausliuosta kerrallaan. Titrauksen päätepisteen lähestyessä punertava väri leviää tiputuskohtaa isommalle alueelle jolloin titrausta jatketaan lisäämällä titrausliuosta pisara kerrallaan. Kun punertava väri leviää pysyvästi koko tutkittavaan liuokseen, lopetetaan titraus ja luetaan titrausliuoksen kulutus byretiltä. Toistetaan titraus. Suolan määrä makkarassa lasketaan niin kuin edellä on selitetty.

140.

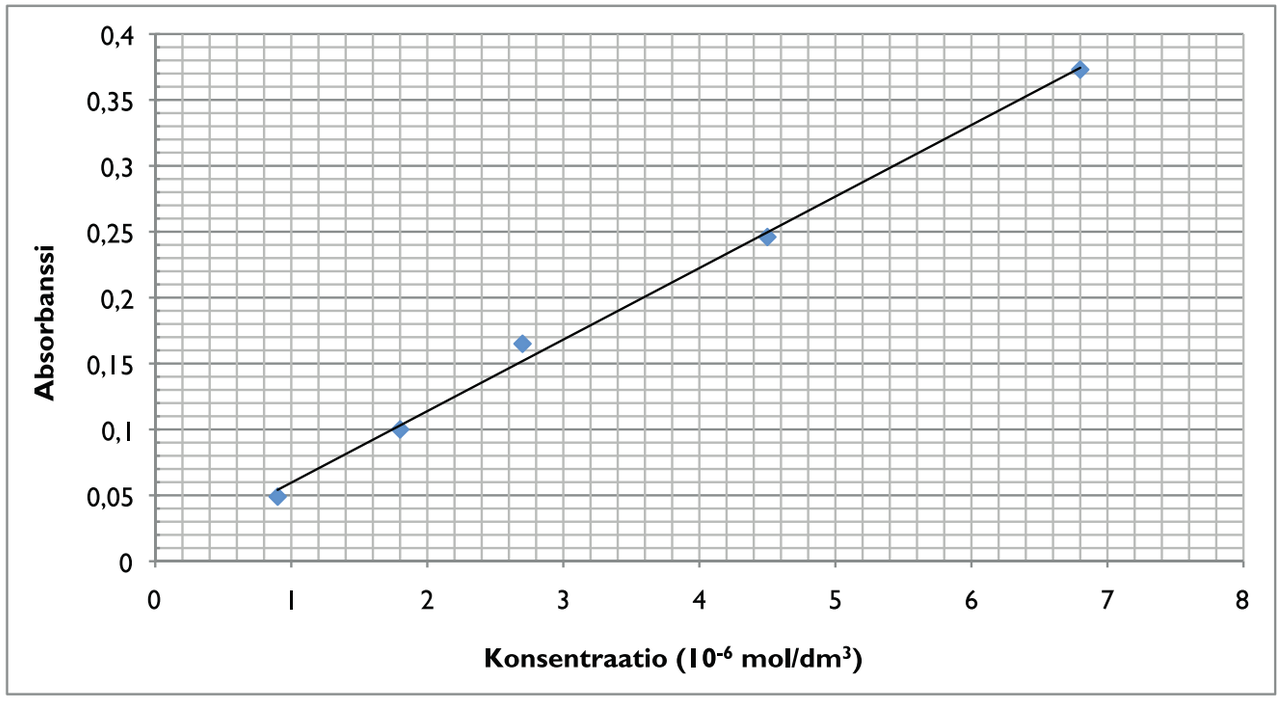
$$c(\text{perusliuos}) = 9{,}0 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

$$c(\text{välilaimennos}) = 9{,}0 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

a) Lasketaan standardiliuosten konsentraatiot

Välilaimennoksen lisäys (ml)	Konsentraatio (mol/dm^3)
7,50	$\frac{7{,}50\ \text{ml}}{10{,}0\ \text{ml}} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 6{,}8 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$
5,00	$\frac{5{,}00\ \text{ml}}{10{,}0\ \text{ml}} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 4{,}5 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$
3,00	$\frac{3{,}00\ \text{ml}}{10{,}0\ \text{ml}} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 2{,}7 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$
2,00	$\frac{2{,}00\ \text{ml}}{10{,}0\ \text{ml}} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 1{,}8 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$
1,00	$\frac{1{,}00\ \text{ml}}{10{,}0\ \text{ml}} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 9{,}0 \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$

b)



c) Kuvaajasta määritettynä

$c(\text{laimennettu näyte}) \approx 2{,}2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$, joten

$c(\text{tonic-vesi}) = 10 \cdot c(\text{laimennettu näyte}) \approx 2{,}2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$.

Vastaus: Kiniinipitoisuus on $2{,}2 \cdot 10^{-5}$ mol/dm^3.

141.

Spektroskopia perustuu aineen kykyyn vuorovaikuttaa sähkömagneettisen säteilyn kanssa. NMR-spektroskopia perustuu siihen, että voimakkaassa magneettikentässä atomiydin, esimerkiksi vety-ydin, absorboi sähkömagneettista säteilyä. Magneettikenttä suuntaa ytimet määrättyihin spinnitiloihin, jotka muuttuvat kun magneettikenttää häiritään. Tällöin molekyylin erilaisissa ympäristöissä olevat protonit näkyvät spektrissä erilaisina viivoina.

Massapektrometrissä yhdistettä pommitetaan esimerkiksi elektroneilla, jolloin muodostuu posiitivisesti varautuneita molekyyli-ioneja. Molekyyli-ionit voivat hajota pienemmiksi hajoamistuotteiksi. Ionit ohjataan magneettikenttiin, jotka aiheuttavat ionien radan kaartumisen. Mitä suurempi ioni, sitä suurempi on radan säde. Ionit iskeytyvät eri kohtaan ilmaisimella ja näkyvät massapektrissä piikkeinä.

Kromatografia perustuu yhdisteiden erottumiseen niiden kulkeutuessa liuotin- tai kaasuvirran mukana paikallaan pysyvän kiinteän tai nestemäisen aineen ohi. Rakenteestaan johtuen yhdisteet vuorovaikuttavat eri tavoin paikallaan pysyvän aineen ja liikkuvan liuotin- tai kaasuvirran kanssa, minkä seurauksena yhdisteet erottuvat toisistaan. Yhdisteiden erilainen vuorovaikutus perustuu esimerkiksi aineiden poolisuuteen tai erilaiseen hiukkaskokoon.

Kaasukromatografiassa liikkuvana faasina on kaasu ja paikallaan olevana neste tai kiinteään kantajafaasiin imeytetty neste. Tutkittava näyte höyrystetään ja kaasu huuhtoo näytteen kolonniin, jossa yhdisteet liikkuvat eri nopeuksilla johtuen niiden erilaisesta jakautumisesta kaasu- ja nestefaasin kesken. Kolonnista ulos tulevat höyryt joutuvat ilmaisimeen, joka reagoi johonkin höyryn aiheuttamaan fysikaaliseen muutokseen.

Nestekromatorafiaa käytetään haihtumattomien yhdisteiden tutkimisessa. Liikkuva faasi on neste ja paikallaan pysyvä faasi kiinteä aine tai neste. Tutkittavan näytteen on liuettava liikkuvaan faasiin.

Pylväskromatografia on pylvään avulla tehtävä kromatografiamenetelmä. Pysyvä faasi on geeli tai jokin sopiva kiinteä aine ja liikkuva faasi neste. Tutkittava näyte valutetaan pylvään läpi ja näytteen komponentit vuorovaikuttavat eri tavoin pylväässä olevan pysyvän faasin kanssa. Komponentit tulevat eri aikoina ulos pylväästä.

Ohutkerroskromatografiassa (TLC) liikkuva faasi on neste ja paikkaan pysyvä faasi on ohutlevy, joka on päällystetty erikoisgeelillä.

Geelielektroforeesissa tutkittava näyte lisätään geeliin, joka kytketään sähkökenttään. Näytteen sähköisesti varautuneet hiukkaset liikkuvat eri nopeuksilla kohti elektrodeja.

8 Kokeellinen kemia

Ylioppilastehtävien 142–151 ratkaisut

142.

Sininen liuos on kuparisulfaattia. Natriumkarbonaatin vesiliuos on emäksinen ja ammoniumkloridin vesiliuos hapan. Emäksisessä liuoksessa yleisindikaattoriliuos muuttuu siniseksi ja happamassa punaiseksi. Natriumkarbonaatti voidaan tunnistaa myös lisäämällä liuokseen suolahappoa, jolloin havaitaan kaasun muodostumista. Syntyvä kaasu on hiilidioksidia. Ammoniumkloridin vesiliuos voidaan varmistaa lisäämällä liuokseen natriumhydroksidia ja tunnistaa syntyvä ammoniakki pistävästä hajusta. Hopeanitraattiliuoksen tunnistaa saostumasta, joka muodostuu, kun liuokseen lisätään suolahappoa. Syntyvä saostuma on niukkaliukoista hopeakloridia. Strontiumnitraatti tunnistetaan liekkikokeella, jossa liekki värjäytyy punaiseksi. Jäljelle jäävä pullo sisältää natriumkloridia. Asia voidaan varmistaa vielä liekkikokeella, jossa liekki värjäytyy keltaiseksi.

143.

a) Kolmas hehkutus tehtiin kideveden haihtumisen varmistamiseksi.

b) $m(H_2O) = m(\text{näyte} + \text{upokas}) - m(\text{näyte} + \text{upokas toisen hehkutuksen jälkeen})$

$= 25{,}825\ \text{g} - 23{,}976\ \text{g}$

$= 1{,}849\ \text{g}$

$$n(H_2O) = \frac{m}{M} = \frac{1{,}849\ \text{g}}{(2 \cdot 1{,}008 + 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$= 0{,}10263099\ \text{mol}$

$\approx 0{,}1026\ \text{mol}$

Vastaus: Kideveden ainemäärä on 0,1026 mol.

c) $m(\text{näyte}) = m(\text{näyte + upokas}) - m(\text{upokas})$

$= 25{,}825\ \text{g} - 22{,}347\ \text{g}$

$= 3{,}478\ \text{g}$

$m(\text{MgCl}_2) = m(\text{näyte}) - m(\text{kidevesi})$

$= 3{,}478\ \text{g} - 1{,}849\ \text{g}$

$= 1{,}629\ \text{g}$

$$n(\text{MgCl}) = \frac{m}{M}$$

$$= \frac{1{,}629\ \text{g}}{(24{,}31 + 2 \cdot 35{,}45)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$= 0{,}0171095\ \text{mol}$

$$\frac{n(\text{MgCl}_2)}{n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0{,}0171095\ \text{mol}}{0{,}1026309\ \text{mol}} \approx \frac{1}{6}$$

Vastaus: Kidevedellisen magnesiumkloridin kaava oli $\text{MgCl}_2 \cdot 6\ \text{H}_2\text{O}$.

d) Roiskahduksen seurauksena punnitustulokseksi punnitukselle näyte + upokas toisen hehkutuksen jälkeen saadaan pienempi tulos kuin pitäisi. Tällöin haihtuneen veden massaksi saadaan suurempi arvo kuin pitäisi ja kidevedettömän magnesiumkloridin massaksi pienempi. Veden ja magnesiumkloridin ainemäärien suhteeksi tulee suurempi kuin 1 : 6 ja kideveden määräksi saadaan liian suuri luku.

144.

a) A-koeputkessa vapautuu vetyä, B-koeputkessa rikkivetyä ja C-koeputkessa happea.

b) Reaktioyhtälöt ovat

$\text{Mg(s)} + 2\ \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{MgCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$

$\text{Na}_2\text{S(s)} + 2\ \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{S(g)} + 2\ \text{NaCl(aq)}$

$2\ \text{H}_2\text{O}_2\text{(l)} \xrightarrow{\text{MnO}_2} \text{O}_2\text{(g)} + 2\ \text{H}_2\text{O(l)}$

145.

Näytteen liuotuksessa suolahappoon tapahtuu reaktio

$Ba(OH)_2(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow BaCl_2(aq) + 2\ H_2O(l)$

Suolahappoa lisättiin

$$n(\mathrm{HCl_{kok.}}) = c \cdot V = 0{,}200\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 100{,}00\ \mathrm{ml} = 20\ \mathrm{mmol}$$

NaOH-liuoksen ja suolahapon välisen reaktion yhtälö:

$NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

$$\mathrm{n(HCl)_{ylimäärä} = n(NaOH)_{titraus}}$$

NaOH:n konsentraation määrityksestä saadaan

$$c(\mathrm{NaOH}) = \frac{28{,}5\ \mathrm{ml} \cdot 0{,}200\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}}{25{,}0\ \mathrm{ml}} = 0{,}2256\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}$$

$$n(\mathrm{HCl_{ylimäärä}}) = n(\mathrm{NaOH_{titraus}}) = 0{,}2256\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 10{,}9\ \mathrm{ml} = 2{,}45904\ \mathrm{mmol}$$

$$n(\mathrm{HCl_{reaktio}}) = n(\mathrm{HCl_{kok.}}) - n(\mathrm{HCL_{ylimäärä}}) = 17{,}54096\ \mathrm{mmol}$$

$$n(\mathrm{Ba(OH)_2}) = \frac{n(\mathrm{HCl_{reaktio}})}{2} = 8{,}77048\ \mathrm{mmol}$$

$$m(\mathrm{Ba(OH)_2}) = n \cdot M = 8{,}77048\ \mathrm{mmol} \cdot (137{,}33 + 2 \cdot 16{,}00 + 2 \cdot 1{,}008)\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \approx 1502{,}79\ \mathrm{mg}$$

$$\frac{m(\mathrm{Ba(OH)_2})}{m(\mathrm{näyte})} \approx \frac{1502{,}79\ \mathrm{mg}}{1{,}6524\ \mathrm{g}} \approx 0{,}909459 \approx 90{,}9\ \%$$

Vastaus: Bariumhydroksidia on näytteessä 90,9 *m*-%.

146.

a) Suolahappo reagoi eetteriliuoksen emäksisen trietyyliamiinin kanssa ja muodostuu vesiliukoinen trietyyliamiinin kloridisuola. Poolinen vesi- ja pooliton eetterifaasi erottuvat, ja ne voidaan erottaa toisistaan erotussuppilossa hanasta valuttamalla. Erotussuppilossa alempi kerros on vesikerros ja ylempi eetterikerros. Astiassa A on siis trietyyliamiinin vesiliuos.

Natriumhydroksidiliuos reagoi bentsoehapon kanssa ja muodostuu vesiliukoinen bentsoehapon natriumsuola. Jälleen alempi vesikerros voidaan erottaa ylemmästä eetterikerroksesta erotussuppilossa hanasta valuttamalla. Astiassa B on siis bentsoehapon natriumsuola. Astiaan C valutetaan eetteriliuokseen jäänyt pooliton butyylibentseeni.

b) Eetteri voidaan poistaa liuoksesta tislaamalla. Butyylibentseenin puhdistamiseen käytetään tislausta.

147.

a) Laimennettaessa liuoksen ainemäärä ei muutu, joten

$n_1 = n_2$ ja $c_1 V_1 = c_2 V_2$,

missä alaindeksi 1 viittaa varastoliuokseen ja 2 laimeampaan liuokseen.

$$V_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{V_1} = \frac{0{,}050\ \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 500\ \text{ml}}{0{,}333\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = 75{,}0751\ \text{ml} \approx 75\ \text{ml}$$

Otetaan 50 ml:n ja 25 ml:n täyspipeteillä 75 ml varastoliuosta 500 ml:n mittapulloon ja täytetään mittapullo tislatulla vedellä merkkiin asti ja sekoitetaan huolellisesti. Kaliumpermanganaattiliuos on voimakkaasti hapettavaa, joten laimentamisen aikana käytetään suojavarusteina takkia, suojalaseja ja muovihansikkaita.

b) Reaktiossa permanganaatin hapetusluku muuttuu +VII:stä +II:een ja hiilen hapetusluku muuttuu +III:sta +IV:ään. Kun hapetus-pelkistys on tasapainotettu, tasapainotetaan lopuksi hapen ja vedyn määrät ja saadaan kertoimiksi

$$5\ H_2C_2O_4 + 2\ MnO_4^- + 6\ H^+ \rightarrow 10\ CO_2 + 2\ Mn^{2+} + 8\ H_2O$$

c) $c(KMnO_4) = \frac{n}{V}$

$$n(KMnO_4) = \frac{2}{5} \cdot n(H_2C_2O_4) = \frac{2 \cdot m(H_2C_2O_4)}{5 \cdot M(H_2C_2O_4)} = \frac{2 \cdot 0{,}2585\ \text{g}}{5 \cdot (2 \cdot 1{,}008 + 2 \cdot 12{,}01 + 4 \cdot 16{,}00)\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$= 0{,}00114843\ \text{mol}$$

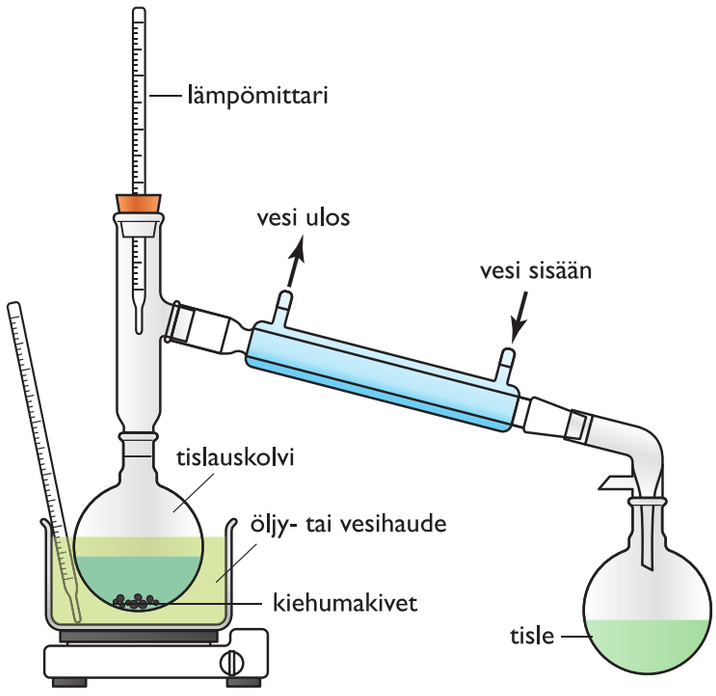
$$c(KMnO_4) = \frac{0{,}00114843\ \text{mol}}{23{,}15\ \text{ml}} = 0{,}0496082\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$\approx 0{,}0496\ \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

Vastaus: $KMnO_4$-liuoksen konsentraatio oli 0,0496 mol/l.

148.

a)



Tislauslaitteistoon kuuluu kolvi, johon kiinnitetään tislauskolonni. Onnistuneessa tislauksessa aineet erottuvat kolonnissa. Kolonniin liitetään T-kappale, jonka yläosaan asetetaan lämpömittari ja sivuputkeen jäähdytin. Jäähdyttimestä tisle ohjataan välikappaleen kautta keräyspulloon. Tislauslaitteisto ei saa olla täysin umpinainen.

b) Eetterin kiehumispiste on alhaisin, joten se tislautuu ensimmäisenä. Höyry nousee jäähdyttimeen, jossa se tiivistyy nesteeksi. Neste valuu keräysastiaan. Eetterin tislautumisen ajan lämpömittari näyttää lukemaa 35 °C. Kun isobutyylikloridi tislautuu, lämpömittarin lukema on 69 °C. Keräysastia vaihdetaan, kun lämpötila on asettunut isobutyylikloridin kiehumispisteeseen. Kun lämpötila alkaa nousta yli 69 °C:een, keräysastia vaihdetaan. Tislauskolvia ei saa tislata kuiviin. Tislauksen aikana kiehuminen pidetään tasaisena ja rauhallisena.

149.

a) Etikkahappo on heikko happo, joka protolysoituu vesiliuoksessa vain osittain. Vahvan hapon (c = 0,1 M) pH olisi 1,0. 0,1-molaarisen etikkahappoliuoksen pH on suurempi kuin yksi, koska vain osa etikkahappomolekyyleistä reagoi vesimolekyylien kanssa tuottaen oksoniumioneja.

b) Epäjalot metallit reagoivat happojen kanssa vetyä vapauttaen. Liuotetaan rautaa koeputkessa esimerkiksi suolahappoon ja kerätään muodostuva kaasu ylösalaisin olevaan koeputkeen. Todetaan syntyvä kaasu vedyksi viemällä palava tulitikku ylösalaisin olevan koeputken suulle. Vety palaa ja kuuluu poksahdus/vingahdus.

c) Litiumkloridi liukenee veteen ioneina, joten liuos on sähköä johtava. Mitataan liuoksen johtokyky.

d) Natrium voidaan tunnistaa liekkikokeen avulla. Natrium värjää liekin voimakkaan keltaiseksi. Karbonaatti reagoi hapon kanssa tuottaen hiilidioksidia. Hiilidioksidi osoitetaan johtamalla se kylläiseen, kirkkaaseen kalkkivesiliuokseen, jolloin havaitaan liuoksen samentuminen. Samentuminen johtuu syntyneestä niukkaliukoisesta kalsiumkarbonaatista.

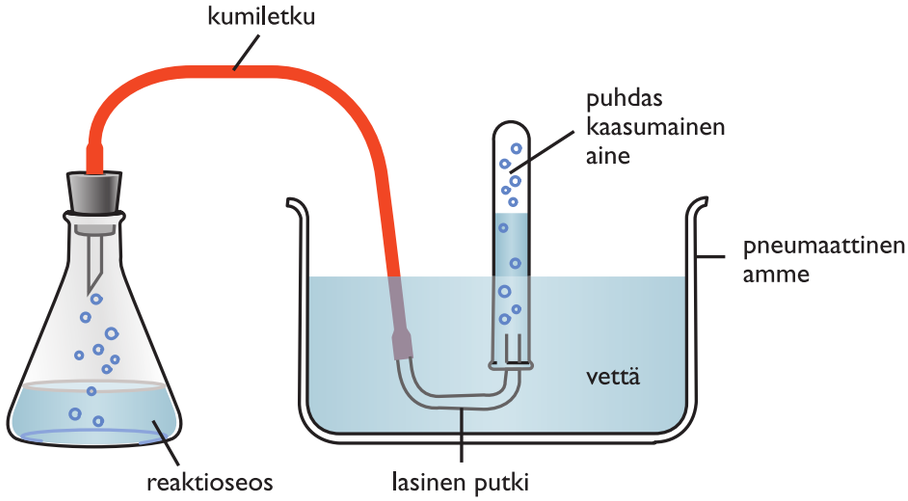
150.

Lakmuspaperin värjäytyminen siniseksi tarkoittaa liuoksen emäksisyyttä. Jos liuoksessa olisi kaliumkarbonaattia, suolahapon lisäys aiheuttaisi kuplintaa, koska karbonaatit reagoivat suolahapon kanssa muodostaen vetykaasua. Valkoinen jauhe ei siis ole kaliumkarbonaattia. Kaliumkloridin vesiliuoksessa on kalium- ja kloridi-ioneja. Kaliumionit eivät ole protolyyttejä ja kloridi-ionit ovat vesimolekyylejäkin heikompia emäksiä. Protolysoitumista tapahtuu niin vähän, että kaliumkloridin vesiliuos ei värjää lakmuspaperia siniseksi. Kaliumfluoridin vesiliuoksessa on kalium- ja fluoridi-ioneja. Fluoridi-ionit ovat heikkoja emäksiä, $K_b = 1{,}5 \cdot 10^{-11}$ mol/l, joten kaliumfluoridin vesiliuoksessa tapahtuu protolysoitumista, joka tuottaa liuokseen hydroksidi-ioneja, ja lakmuspaperi värjäytyy siniseksi. Valkoinen jauhe oli siis kaliumfluoridia.

151.

Reaktioyhtälö on $2\,H_2O_2(aq) \xrightarrow{MnO_2} O_2(g) + 2\,H_2O(l)$.

Kaasun kerääminen voidaan tehdä pneumaattisella ammeella:



Happi voidaan osoittaa viemällä hehkuva puutikku kaasuun, jolloin tikku syttyy uudestaan palamaan. Kaasun massa voidaan laskea kaasujen yleisen tilanyhtälön avulla ($p \cdot V = n \cdot R \cdot T$).

$$m = n \cdot M = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot T}$$

9 Ympäristökemia

Tehtävien 152–159 ratkaisut

152.

a) Tarvittavan otsonin määrä on niin suuri, että sen valmistaminen ei ole kovin realistista. Siinäkin tapauksessa, että otsonia voitaisiin valmistaa riittävästi, sen vieminen stratosfääriin olisi jokseenkin mahdotonta. Jos otsoni vapautettaisiin alailmakehään, siitä olisi vain haittaa, sillä alailmakehän otsoni on ilmansaaste.

b) Tämä voisi teoriassa toimia. Käytännössä lannoittamisen vaikutuksia on vaikea ennustaa. Kasviplanktonin lisääntyminen voisi häiritä ekosysteemin muita lajeja. Miten rauta vaikuttaisi muihin eliöihin? Kuinka paljon se saostuisi meriveden muiden ionien kanssa? Tarvittavat lannoitemäärät olisivat lisäksi valtavia.

c) Pienhiukkaset ja rikkidioksidi ovat ilmansaasteita, jotka ovat haitallisia ihmisille ja ekosysteemeille. Ne voivat esimerkiksi vaurioittaa kasveja, jolloin yhteyttäminen heikentyy ja kasvit sitovat vähemmän hiilidioksidia. Ne myös pimentävät, mikä heikentäisi myös yhteyttämistehoa. Vaikutus saattaisi siis olla jopa päinvastainen kuin toivotaan. Lisäksi hiukkasten kulkeutumista voi olla vaikea ennustaa, ja ne voivat osallistua ilmakehän reaktioihin esimerkiksi toimimalla reaktiopintana.

153.

a) $2\ NO_2 \rightarrow 2O_2 + N_2$

$2\ CO + O_2 \rightarrow 2\ CO_2$

$2\ C_6H_6 + 15\ O_2 \rightarrow 12\ CO_2 + 6\ H_2O$

b) Typen oksidit ärsyttävät hengityselimistöä. Ne myös reagoivat ilmakehässä edelleen muodostaen typpihappoa ja typpihapoketta, jotka happamoittavat ekosysteemejä. Hiilimonoksidi on myrkyllinen kaasu, joka sitoutuu hapen tilalle hemoglobiiniin. Bentseeni on haitallinen, hengitysteitä ärsyttävä ja karsinogeeninen eli syöpää aiheuttava aine. Kaikki mainitut yhdisteet myös osallistuvat ilmakehässä reaktioihin, joissa syntyy muita haitallisia yhdisteitä, kuten otsonia.

c) Valokemiallinen sumu on yleensä liikenteen päästöistä (joskus myös esim. metsäpalojen, teollisuuden tai muiden palamisprosessien kaasuista) muodostuva sumu, jossa typen oksidit, orgaaniset yhdisteet ja hiilimonoksidi reagoivat muodostaen uusia, haitallisia yhdisteitä. Auringon valo edistää reaktioita pilkkomalla molekyylejä helposti reagoiviksi radikaaleiksi. Valokemiallisen sumun syntymistä edistävät olosuhteet, joissa ilma ei liiku, ja saasteet eivät pääse laimenemaan.

154.

a) $N_2O_5(g) + H_2O(l) \rightarrow 2\ HNO_3(aq)$

$2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ SO_3(g)$

$SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$

b) Kuivalaskeuma tarkoittaa ilmansaasteita, joita laskeutuu kaasuina tai pölyn mukana maahan. Märkälaskeumalla tarkoitetaan sadeveden tai lumen mukana maahan päätyviä ilmansaasteita.

c) Happamoituminen tarkoittaa maaperän ja vesistöjen pH:n laskua. Matala pH on jo sinänsä haitallinen esimerkiksi kasvien lehdille ja neulasille, maaperän hajottajille ja kalojen mätimunille. Haitallisuutta lisää se, että happamassa monet haitalliset raskasmetallit ja alumiini liukenevat paremmin. Monet kasveille tärkeät ravinteet puolestaan ovat vaikeammin saatavissa, kun pH laskee. Koska kaikki ekosysteemin lajit ovat riippuvaisia toisistaan, happamoituminen vaikuttaa koko ekosysteemiin.

155.

a) Ilmastonmuutos: lämpeneminen edistää pohjoisten alueiden ikiroudan sulamista, ja siihen sitoutunutta metaania voi vapautua ilmakehään. Metaani on tehokas kasvihuonekaasu. Lämpenemisen seurauksena maapallon lumi- ja jääpeite vähenee. Lumi ja jää heijastavat auringon valoa takaisin avaruuteen, joten niiden väheneminen saattaa edistää lämpenemistä. Ilmastonmuutoksen on myös ennustettu vähentävän sateita ja nostavan lämpötilaa sademetsävyöhykkeellä. Kuumuus ja kuivuus saattavat pienentää metsä-alaa, jolloin metsät sitovat vähemmän hiilidioksidia. Toisaalta pohjoisten alueiden lämpeneminen taas saattaa lisätä metsien kasvua pohjoisessa. Takaisinkytkentöjen merkityksen ennustaminen on vaikeaa, ja se asettaa haasteita ilmastoennusteille.

b) Rehevöityneen vesistön pohjaan vajoaa paljon kuollutta kasviainesta, jonka hajottamiseen kuluu paljon happea. Pohjavedestä loppuu happi, ja hapettomissa olosuhteissa pohjalietteestä alkaa vapautua sinne sitoutunutta fosforia. Tämän takia vesistö voi huonosti vielä pitkään sen jälkeen, kun fosforikuormitus on loppunut.

156.

a) DDT on yksi haitallisimmista ympäristömyrkyistä. Se hajoaa hitaasti ja kertyy rasvakudokseen, minkä vuoksi se rikastuu ravintoketjussa.

b) Natriumkanavien aukeaminen saa aikaan hermoimpulssin. Hallitsematon hermoimpulssien syntyminen aiheuttaa hyönteisen kuoleman.

c) DDT:ssa on rengasrakenne, joka muistuttaa monien steroidihormonien rengasrakennetta. Se voi esimerkiksi sitoutua hormoneille tarkoitettuihin reseptoreihin eli vastaanottajamolekyyleihin ja estää hormonin sitoutumisen. (Vertaa rakennetta kappaleen 1 tehtävässä 11 esiintyvään bisfenoli-A:han, joka on samankaltainen hormonitoimintaa häiritsevä aine).

d) DDT-molekyyli on melko suurikokoinen ja käytännössä pooliton molekyyli, joka liukenee siis hyvin poolittomiin aineisiin kuten rasvoihin. Rengasrakenne on erittäin pysyvä, ja huono vesiliukoisuus hankaloittaa myös molekyylin hajottamista, sillä elimistön entsyymeistä suurin osa toimii veteen liuenneina.

e) Tähän ei ole yhtä oikeaa vastausta. On kuitenkin hyvä muistaa, että DDT on säästänyt ihmishenkiä esimerkiksi kehitysmaissa, joissa sitä on käytetty malariahyttysen torjuntaan. Sisätiloissa käytettynä DDT voi olla tehokas ja melko harmiton malariantorjuntakeino, kunhan sen pääsy ympäristöön ja ruoka-aineisiin estetään. Ympäristölle haitallisten aineiden vienti kehitysmaihin on kuitenkin eettisesti arveluttavaa, sillä ne saattavat päätyä vääriin käsiin.

157.

Testi ei paljasta aineita, jotka vaikuttavat eliöihin pitkällä aikavälillä. Lisäksi vaikutuksia voi joskus olla vaikea havaita. Aine voi myös olla haitaton pienenä pitoisuutena, mutta rikastuessaan ravintoketjussa se voi tuottaa yllättäviä vaikutuksia. Kaikki aineet eivät myöskään vaikuta samalla tavalla kaikkiin eliöihin. Esimerkiksi sikiöiden kehityshäiriöitä ihmisillä aiheuttanut talidomidi-lääke oli testattu eläinkokeilla ja todettu niissä turvalliseksi.

158.

a) Puskuri vastustaa pH:n muuttumista, kun liuokseen lisätään hapanta tai emäksistä ainetta. Yhdisteen kyky toimia puskurina perustuu siihen, että se voi tarpeen mukaan joko luovuttaa tai vastaanottaa protoneja. Humushapoissa on useita heikosti happamia ryhmiä, joista osa on protolysoitunut. Siksi ne voivat luovuttaa ja vastaanottaa protoneja.

b) Kalkki eli kalsiumkarbonaatti on emäksinen suola ja se neutraloi happoja.

c) Typen oksideja syntyy eniten liikenteessä ja niitä voidaan vähentää katalysaattorilla, jossa typen oksidit pelkistyvät typeksi ja hapeksi. Rikkidioksidia voidaan ottaa talteen savukaasuista ja käyttää rikkihapon valmistuksessa. Sitä voidaan myös johtaa kalkkiveteen, jolloin saostuu kalsiumsulfaattia eli kipsiä.

d) Suomen maaperä ja vesistöt ovat luonnostaan hieman happamia. Tämä johtuu siitä, että Suomen maaperässä on vähän kalkkipitoista kiviainesta, lisäksi havupuiden karike on hapanta. Luontaisen happamuuden takia puskurikapasiteetti on pieni ja pH laskee helposti haitallisen matalaksi.

e) Happamoittavat päästöt voivat kulkeutua tuhansien kilometrien päähän päästölähteestä. Siksi Suomessa vaikuttavat omien päästöjemme lisäksi esimerkiksi Keski-Euroopan päästöt.

159.

a) Kirjoitetaan hiilidioksidin liukenemiselle tasapainoyhtälö annetun tasapainovakion kaavan mukaan:

$$K_{c1} = \frac{[CO_2(aq)]}{p_{CO_2}}.$$

Seuraaville reaktioille kirjoitetaan tasapainoyhtälöt totuttuun tapaan:

$$K_{c2} = \frac{[H^+] \cdot [HCO_3^-]}{[CO_2(aq)]} \text{ ja}$$

$$K_{c3} = \frac{[H^+] \cdot [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}.$$

Ratkaistaan yhtälöistä $[CO_2(aq)]$, $[HCO_3^-]$ ja $[CO_3^{2-}]$. Sijoitetaan 1. yhtälöstä ratkaistu $[CO_2(aq)]$ 2. yhtälöön ja 2. yhtälöstä ratkaistu $[HCO_3^-]$ 3. yhtälöön.

$$[CO_2(aq)] = K_{c1} \cdot p_{CO_2}$$

$$[HCO_3^-] = \frac{K_{c2} \cdot [CO_2(aq)]}{[H^+]} = \frac{K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{[H^+]}$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{K_{c3} \cdot [HCO_3^-]}{[H^+]} = \frac{K_{c3} \cdot K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{[H^+]^2}$$

Elektroneutraalisuuden vuoksi voidaan kirjoittaa yhtälö

$$\left[\mathrm{H^+}\right] = \left[\mathrm{OH^-}\right] + \left[\mathrm{HCO_3^-}\right] + 2 \cdot \left[\mathrm{CO_3^{2-}}\right]$$

johon aiemmat yhtälöt sijoitetaan:

$$\left[\mathrm{H^+}\right] = \left[\mathrm{OH^-}\right] + \frac{K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{\left[\mathrm{H^+}\right]} + \frac{2 \cdot K_{c3} \cdot K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{\left[\mathrm{H^+}\right]^2}.$$

Veden ionitulosta saadaan $\left[\mathrm{OH^-}\right] = \frac{K_w}{\left[\mathrm{H^+}\right]}$. Tällöin ainoaksi tuntemattomaksi jää $[H^+]$, joka täytyy ratkaista kolmannen asteen yhtälöstä:

$$\left[\mathrm{H^+}\right] = \frac{K_w}{\left[\mathrm{H^+}\right]} + \frac{K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{\left[\mathrm{H^+}\right]} + \frac{2 \cdot K_{c3} \cdot K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{\left[\mathrm{H^+}\right]^2}$$

$$\left[\mathrm{H^+}\right]^3 - \left(K_w + K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}\right) \cdot \left[\mathrm{H^+}\right] - 2 \cdot K_{c3} \cdot K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2} = 0$$

Kaasun osapaine lasketaan 0,000315 · 1 atm = 0,000315 atm

NTP-olosuhteissa $K_w = 0{,}114 \cdot 10^{-14}$ $(\mathrm{mol/l})^2$

$$\left[\mathrm{H^+}\right]^3 - \left(0{,}114 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^2 + 4{,}283 \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 3{,}400 \cdot 10^{-2} \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l \cdot atm}} \cdot 0{,}000315\ \mathrm{atm}\right) \cdot \left[\mathrm{H^+}\right]$$

$$-2 \cdot 4{,}687 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 4{,}283 \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}} \cdot 3{,}400 \cdot 10^{-2} \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l \cdot atm}} \cdot 0{,}000315\ \mathrm{atm} = 0$$

$$\left[\mathrm{H^+}\right]^3 - \left(0{,}114 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^2 + 4{,}587093 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^2\right) \cdot \left[\mathrm{H^+}\right] - 4{,}299941 \cdot 10^{-22} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^3 = 0$$

$$\left[\mathrm{H^+}\right]^3 - 4{,}588233 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^2 \cdot \left[\mathrm{H^+}\right] - 4{,}299941 \cdot 10^{-22} \left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{l}}\right)^3 = 0$$

Ratkaistaan $[H^+]^3$, jolle saadaan kolme arvoa:

$[H^+]^3 = -2{,}14197 \cdot 10^{-6}$ mol/l

$[H^+]^3 = -9{,}37167 \cdot 10^{-11}$ mol/l

$[H^+]^3 = 2{,}14206 \cdot 10^{-6}$ mol/l

Koska vetyionikonsentraatio ei voi olla negatiivinen, ainoa mahdollinen ratkaisu on kolmas vaihtoehto. Tästä saadaan pH = –log[H^+] = 5,6691683686 ≈ 5,67.

Tässä tapauksessa ratkaisua voi myös yksinkertaistaa approksimaatiolla $[CO_3^{2-}] \approx 0$, koska kyseinen happovakio on hyvin pieni.

$$\left[H^+\right] = \left[OH^-\right] + \frac{K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}}{[H^+]}$$

$$\left[H^+\right]^2 = K_w + K_{c2} \cdot K_{c1} \cdot p_{CO_2}$$

$$= 0{,}114 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2 + 4{,}283 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 3{,}400 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{atm}} \cdot 0{,}000315 \text{ atm}$$

$$= 0{,}114 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2 + 4{,}587093 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2$$

$$= 4{,}58823 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2$$

$$\left[H^+\right] = 2{,}14202 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 5{,}66917727 \approx 5{,}67$$

Vastaus: Sadeveden pH on 5,67.

b) Kun a-kohta on ratkaistu, b-kohta saadaan ratkaistua sijoittamalla toinen osapaine.

$$\left[H^+\right]^3 - \left(0{,}114 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2 + 4{,}283 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 3{,}400 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{atm}} \cdot 0{,}000390 \text{ atm}\right) \cdot \left[H^+\right]$$

$$-2 \cdot 4{,}687 \cdot 10^{-11} \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 4{,}283 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 3{,}400 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{atm}} \cdot 0{,}000390 \text{ atm} = 0$$

$$\left[H^+\right]^3 - \left(0{,}114 \cdot 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2 + 5{,}679258 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2\right) \cdot \left[H^+\right] - 5{,}3237364 \cdot 10^{-22} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^3 = 0$$

$$\left[H^+\right]^3 - 5{,}690398 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2 \cdot \left[H^+\right] - 5{,}3237364 \cdot 10^{-22} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^3 = 0$$

Ratkaistaan $[H+]^3$, jolle saadaan kolme arvoa:

$[H^+]^3 = -2{,}38541 \cdot 10^{-6}$ mol/l

$[H^+]^3 = -9{,}35565 \cdot 10^{-11}$ mol/l

$[H^+]^3 = 2{,}3855 \cdot 10^{-6}$ mol/l

Koska vetyionikonsentraatio ei voi olla negatiivinen, pH = 5,6224205791 ≈ 5,62.

Ero on numeerisesti pieni, mutta voi olla ekologisesti merkittävä, koska monien eliöiden optimaalinen pH-alue on kapea. Muista myös, että pH on logaritminen suure, vetyionikonsentraatioissa on selvä ero!

Vastaus: pH on 5,62.

c) Kyseisillä eliöillä on kalkkikuori, jonka muodostuminen vaikeutuu matalassa pH:ssa.

d) Merivedessä on paljon emäksisiä ja puskuroivia yhdisteitä, jotka estävät pH:n laskua. Lisäksi meren eliöstö vaikuttaa aineiden kiertoon ja sitoutumiseen.

9 Ympäristökemia

Ylioppilastehtävien 160–167 ratkaisut

160.

a) Yläilmakehän otsonia syntyy ja häviää jatkuvasti UV-säteilyn vaikutuksesta. Lyhytaaltoinen UVC-säteily (> 240 nm) hajottaa happimolekyylin kahdeksi happiradikaaliksi, jotka reagoivat happimolekyylien kanssa:

$O_2 \rightarrow O\cdot + O\cdot$

$O\cdot + O_2 \rightarrow O_3$

Syntynyt otsoni absorboi pidempiaaltoista UVB-säteilyä (240–320 nm) ja hajoaa sen vaikutuksesta takaisin happimolekyyliksi ja happiradikaaliksi:

$O_3 \rightarrow O\cdot + O_2$

Yläilmakehään kulkeutuneista halogenoiduista hiilivedyistä eli CFC-aineista (freoneista) vapautuu UV-säteilyn vaikutuksesta klooriradikaaleja, jotka katalysoivat otsonin hajoamista. Katalyytteinä toimivat myös bromiradikaalit. Katalysoituaan otsonimolekyylin hajoamisen radikaali vapautuu ja voi katalysoida tuhansien molekyylien hajoamisen ennen poistumistaan stratosfääristä. Otsonikadon vuoksi CFC-yhdisteiden käyttöä on rajoitettu huomattavasti.

b) Otsoni hapettaa jodin jodidiksi:

$$\overset{0}{O_3} + 2\ \overset{+I\ -I}{KI} + \overset{+I\ -II}{H_2O} \rightarrow \overset{0}{I_2} + 2\ \overset{+I-II+I}{KOH} + \overset{0}{O_2}$$

Titrauksessa jodi pelkistyy jodidiksi ja osa tiosulfaatin rikistä hapettuu. Tetrationaatissa rikin hapetusluvuksi tulisi laskien 2,5, mikä kertoo, että rikki esiintyy yhdisteessä kahdella hapetusluvulla. Tämä johtuu siitä, että osa rikkiatomeista on sitoutunut toisiin rikkiatomeihin, osa happiatomeihin.

$$\overset{0}{I_2} + 2\,\overset{+I\ +II\ -II}{Na_2S_2O_3} \rightarrow \overset{+I\ ?\ -II}{Na_2S_4O_6} + 2\,\overset{+I\ -I}{NaI}$$

Titraus:

$n = c \cdot V$

$c(Na_2S_2O_3) = 0{,}15\ \text{M}$

$V(Na_2S_2O_3) = 11{,}2\ \text{ml} = 0{,}0112\ \text{l}$

$n(O_3) = n(I_2) = 0{,}5 \cdot n(Na_2S_2O_3) = 0{,}5 \cdot 0{,}15\ \text{M} \cdot 0{,}0112\ \text{l} = 0{,}00084\ \text{mol}$

$M(O_3) = 48\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

$m(O_3) = 0{,}0084\ \text{mol} \cdot 48\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0{,}04032\ \text{g} \approx 0{,}40\ \text{g}$

Vastaus: Näyte sisälsi otsonia 0,40 g.

161.

a) Happea tulee veteen ilmasta liukenemalla jäättöminä kuukausina ja kasvien yhteyttämisen tuloksena. Sitä kuluu, kun eliöt (esim. kalat, kasvit, pohjan hajottajat) käyttävät sitä soluhengityksessä. Kylmään veteen liukenee enemmän happea kuin lämpimään.

Yhteyttämisen tehokkuuteen vaikuttavat lämpötila, valon saatavuus (syvyys) ja ravinteiden saatavuus. Pohjalla valoa on vähän, ja siksi yhteyttäminen on kaikkina vuodenaikoina vähäistä pohjalla. Pohjavesi on pintavettä hapettomampaa myös siksi, että pintaveteen liukenee ilmasta happea sekä siksi, että pohjassa tapahtuva kuolleen biomassan hajotus kuluttaa happea.

Talvella happea on enemmän kuin kesällä sekä pinta- että pohjavedessä. Tämä johtuu siitä, että kylmään veteen liukenee enemmän happea, ja talvella eliöt kuluttavat vähän happea, koska vesi on kylmää ja niiden elintoiminnot ovat siksi hitaita. Kesällä veteen liukenee ilmasta happea ja kasvit ja levät tuottavat sitä, mutta happea myös kuluu paljon, kun eliöt ovat lämpimässä ja valoisassa aktiivisia. Kasvukaudella syntyy myös kuollutta biomassaa, jonka hajotus kuluttaa happea.

Kyseessä on vähäravinteinen järvi, mikä näkyy kuvaajasta. Jos ravinteita olisi paljon, hapenkulutus olisi talvellakin suurta, kun kuollutta kasvimassaa vajoaisi kesän jälkeen pohjaan. Kasvimassan hajotus kuluttaisi pohjasta hapen vähiin, ja pintavedenkin happipitoisuus laskisi, koska jää estää hapen liukenemisen ilmasta veteen.

b) (i) $Mn^{2}+(aq) + 2\ OH^{-}(aq) \rightarrow Mn(OH)_2(s)$ tai

$MnCl_2(aq) + 2\ OH^{-}(aq) \rightarrow Mn(OH)_2(s) + 2\ Cl^{-}(aq)$

(ii) $2\ Mn(OH)_2(s) + O_2(aq) \rightarrow 2\ MnO(OH)_2(s)$

(iii) $MnO(OH)_2(s) + 4\ H+(aq) + 2\ I^{-}(aq) \rightarrow Mn^{2}+(aq) + I_2(aq) + 3\ H_2O(l)$

(iv) $2\ S_2O_3^{2-}(aq) + I_2(aq) \rightarrow 2\ I^{-}(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

c) $n(O_2) = ½\ n(I_2)$ (Jos et pysty päättelemään tätä suoraan reaktioyhtälöistä, voit kertoa reaktion (iii) kahdella ja muodostaan reaktioiden (ii) ja (iii) kokonaisreaktion. Siinä O_2:n kerroin on 1 ja I_2:n kerroin on 2.)

$n(I_2) = ½\ n(S_2O_3^{2-}) = ½ \cdot 0{,}0100\ \text{mol/l} \cdot 0{,}0129\ \text{l} = 0{,}0000645\ \text{mol}$

$n(O_2) = ½ \cdot n(I_2) = ½ \cdot 0{,}0000645\ \text{mol} = 0{,}00003225\ \text{mol}$

Happea on 100 ml:n näytteessä 0,00003225 mol · 32,00 g/mol = 0,001032 g eli litrassa 0,01032 g. Yleensä happipitoisuus ilmoitetaan mg/l, tässä se olisi siis 10,3 mg/l.

Vastaus: Happipitoisuus on 10,3 mg/l.

162.

a) Fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet miljoonia vuosia sitten kuolleiden kasvien ja eläinten jäännöksistä ja niihin sitoutunut hiili on siis pysynyt poissa kierrosta miljoonia vuosia. Fossiiliset polttoaineet sisältävät hiilivetyjä, joiden palaessa syntyy hiilidioksidia CO_2. Poltettaessa hiili vapautuu siis pitkäaikaisvarastoistaan kiertoon ja ilmakehän CO_2-pitoisuus kasvaa. Koska fossiilisten polttoaineiden muodostuminen on erittäin hidasta, voidaan katsoa, että ne eivät ole uusiutuvia energianlähteitä.

b) Hiilidioksidin liuetessa veteen syntyy hiilihappoa, joka on heikko happo. Se muuttaa sadeveden lievästi happamaksi.

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

$H_2CO_3 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H_3O^+$

$HCO_3^- + H_2O \rightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$

Sadeveden happamuuteen vaikuttavat myös muut aineet kuten typen ja rikin oksidit.

c) Kasvit käyttävät hiilidioksidia ja vettä yhteyttämisen lähtöaineina ja tuottavat niistä glukoosia ja happea, joten ne kuluttavat ilmasta hiilidioksidia.

$6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$

Vaikka hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään esimerkiksi kasvin kuollessa tai kun puuta poltetaan, sitä ei synny enempää kuin kasvi on aikanaan yhteyttäessään sitonut. Kasveihin sitoutunut hiilidioksidi on pois ilmakehän hiilidioksidista.

d) Normaaliolosuhteet (NTP): $T = 273$ K (0 °C), $p = 1{,}013$ bar

Hiilidioksidimolekyyli on lineaarinen ja symmetrinen, minkä vuoksi se on pooliton.

O=C=O

Tämän vuoksi molekyylien välillä on vain heikkoja dispersiovoimia. Tämä yhdessä molekyylin pienen koon kanssa aiheuttaa sen, että kiehumispiste on matala.

163.

a)
- Fosfaatit ovat fosforihapon suoloja, joita käytetään erityisesti lannoitteissa. Myös pyykinpesuaineissa on aiemmin käytetty paljon fosfaatteja, mutta nykyään on myös paljon fosfaatittomia pesuaineita.
- Fosfori on kasveille ja leville tärkeä ravinne, ja siksi fosfaattien pääsy vesistöihin lisää kasvien ja levien kasvua niissä. Tätä kutsutaan rehevöitymiseksi. Kasvien ja levien liiallinen kasvu aiheuttaa veden samentumista, ja kuollutta kasvimassaa vajoaa pohjaan. Sen hajottaminen kuluttaa paljon happea, minkä vuoksi pohja muuttuu hapettomaksi. Useimmat eliöt kuolevat hapen puutteessa.
- Pohjan hapettomuuden seurauksena pohjalietteestä vapautuu lisää fosforia, sillä hapettomissa oloissa niukkaliukoisen rauta(III)fosfaatin rauta pelkistyy kahdenarvoiseksi, jolloin fosfaattia vapautuu. Tätä kutsutaan sisäiseksi kuormitukseksi. Rehevöityminen aiheuttaa myös haitallisten levien, kuten sinilevien eli sinibakteerien lisääntymistä.
- Fosfaattien pääsyä ympäristöön voidaan vähentää esimerkiksi mitoittamalla lannoitusmäärät oikein, lannoittamalla silloin, kun kasvit käyttävät lannoitteita, suosimalla fosfaatittomia pesuaineita ja puhdistamalla jätevedet ennen niiden päästämistä vesistöihin.

b)
- Radioaktiivisia alkuaineita on luonnostaan kallioperässä. Niitä päätyy muualle ympäristöön esimerkiksi kallioperää louhittaessa, ydinvoimalaonnettomuuksissa ja ydinkokeissa.
- Ydinenergian tuotannossa käytetään uraania, jonka hajotessa syntyy muita radioaktiivisia aineita.
- Suomen kallioperässä on paikoin paljon uraania, jonka spontaanin hajoamisen seurauksena syntyy radonkaasua. Ulkona radon laimenee nopeasti ilmaan, mutta sisätiloissa sen pitoisuus voi nousta haitallisen suureksi.
- Radioaktiivisten aineiden hajotessa syntyy gamma-, beta- tai alfasäteilyä, jotka ovat haitallisia eliöille. Säteily vaurioittaa eliöiden DNA:ta, ja voi siten aiheuttaa esimerkiksi syöpää tai sikiövaurioita.
- Radioaktiivisten aineiden pääsyä ympäristöön voidaan vähentää esimerkiksi huolehtimalla ydinpolttoaineen asianmukaisesta käsittelystä ja ydinvoimaloiden turvallisuudesta. Uraanin louhinnassa on huolehdittava siitä, ettei uraanipitoisia jätevesiä tai jätemalmia päädy ympäristöön.
- Radonin pääsyä ympäristöön on vaikea välttää, mutta sen haittoja voidaan vähentää esimerkiksi rakennuspaikan valinnalla sekä rakennustekniikalla kuten ilmanvaihdolla.

c) Klooratut hiilivedyt ovat ihmisen valmistamia aineita, jotka ovat hyvin pysyviä eli hajoavat hitaasti ympäristössä. Ne sisältävät klooria, hiiltä ja vetyä. Esimerkkeinä voi mainita vaikkapa CFC- ja PCB-yhdisteet ja DDT:n.

- Niitä on käytetty esimerkiksi torjunta-aineina, eristeinä sekä kylmälaitteissa.
- Ne ovat rasvaliukoisia ja monet kertyvät siksi eliöihin ja rikastuvat ravintoketjussa. (Näitä ominaisuuksia voisi perustella kemiallisesti, esim. suuri molekyylikoko, ei poolisia ryhmiä).
- Klooratut hiilivedyt eivät ole välittömästi kovin myrkyllisiä, mutta ne aiheuttavat paljon pitkäaikaisvaikutuksia, esim. syöpää ja kehityshäiriöitä. Ne voivat myös häiritä hormonitoimintaa. Ne ovat erityisen haitallisia ravintoketjun huipulla oleville eliöille, esim. hylkeiden kohdunkuroumatauti ja merikotkien munan kuoren haurastuminen.
- Pienimolekyylisiä kloorattuja hiilivetyjä on käytetty esim. kylmälaitteissa. Ne haihtuvat helposti ja kulkeutuvat stratosfääriin, jossa niistä irtoaa UV-säteilyn vaikutuksesta klooriradikaaleja. Nämä katalysoivat otsonin hajoamisreaktiota ja aiheuttavat siten otsonikatoa.
- Kloorattujen hiilivetyjen pääsyä ympäristöön on rajoitettu kieltämällä näiden aineiden käyttö useimmissa maissa. Niitä päätyy kuitenkin edelleen ympäristöön jäljelle jääneistä varastoista ja esimerkiksi kehitysmaista laittoman myynnin seurauksena. Pysyvyytensä vuoksi ne poistuvat ympäristöstä erittäin hitaasti.

d)
- Elohopeaa on päätynyt ympäristöön esimerkiksi puunjalostusteollisuudessa ja poltettaessa fossiilisia polttoaineita, joiden seassa on pieniä määriä elohopeaa. Elohopeaa käytetään myös esimerkiksi lämpömittareissa ja loisteputkissa.
- Elohopea on haitallinen raskasmetalli, joka häiritsee esimerkiksi hermoston toimintaa ja on eliöille myrkyllistä.
- Se on erityisen haitallista metyylielohopeana, joka kertyy eliöiden rasvakudokseen ja rikastuu ravintoketjussa.
- Elohopea kiertää luonnossa maaperän, vesistöjen ja ilmakehän välillä, ja mikrobit osallistuvat sen hapettamiseen ja pelkistämiseen. Elohopeaa poistuu luonnosta vähitellen vesistöjen pohjasedimentteihin ja maaperään sitoutumalla, mutta se voi vapautua uudelleen esimerkiksi tekoaltaan rakennuksen yhteydessä.
- Elohopean joutumista ympäristöön voi vähentää lajittelemalla elohopea sisältävät laitteet ongelmajätteisiin ja korvaamalla teollisuuden käyttämiä elohopeapitoisia yhdisteitä vähemmän haitallisilla.

e)
- Lyijy on haitallinen raskasmetalli, jota on aiemmin päässyt ympäristöön erityisesti teollisuudesta (esim. lyijyakkujen valmistus), liikenteestä (lyijypitoiset polttoaineet) ja lyijyhauleista. Nykyään lyijyä pääsee ympäristöön huomattavasti vähemmän, ja lyijypitoisuudet ovatkin laskussa.
- Lyijy kertyy elimistössä sisäelimiin ja vaurioittaa niiden lisäksi myös esimerkiksi hermostoa. Se aiheuttaa myös sikiövaurioita ja kehityshäiriöitä. Lyijy vaikuttaa myös muihin eliöihin samalla tavoin kuin ihmiseen.
- Ympäristöön päätyvän lyijyn määrää on vähennetty esimerkiksi lyijypitoisen bensiinin käytön lopettamisella ja lyijyhaulien osittaisella kieltämisellä. Omaa lyijyaltistustaan voi vähentää mm. tarkistamalla, mitkä esineet sisältävät lyijyä ja välttämällä niiden käyttöä ruokien valmistuksessa ja säilytyksessä. Myös esimerkiksi uuden vuoden tinat ovat pääosin lyijyä.

164.

Esseessä kannattaa käsitellä esimerkiksi seuraavia asioita:

- Mitä ovat fossiiliset polttoaineet (kivihiili, maakaasu, öljy, turve)?
- Miten ne ovat syntyneet ja milloin? (Kivihiili, maakaasu ja maaöljy ovat syntyneet satoja miljoonia vuosia sitten, kun maapallolla oli laajoja sanikkaismetsiä. Kuolleita kasveja hautautui maan alle, missä ei ollut riittävästi hajottajia ja happea, ja siksi kasvien orgaaniset yhdisteet eivät hajonneet vaan muuttuivat kovassa paineessa vähitellen kivihiileksi, maaöljyksi ja maakaasuksi. Turvetta taas syntyy soilla, jotka ovat liian märkiä paikkoja hajottajille. Siksi kuolleet kasvit hajoavat vain osin ja niistä syntyy turvetta. Turvetta syntyy niin hitaasti, että se lasketaan usein fossiilisiin polttoaineisiin.)
- Miksi fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta? Mitä siitä seuraa? Voit verrata myös lyhyesti uusiutuviin energianlähteisiin. (Fossiilisista polttoaineista tulee ilmaan ”uutta” hiilidioksidia, jonka hiili on ollut maan alla satoja miljoonia vuosia. Esimerkiksi puun poltossa syntyy hiilidioksidia, mutta hiilimäärä on sama, jonka puu on sitonut ilmakehästä kasvaessaan).
- Muut ympäristöhaitat, esim. fossiilisten polttoaineiden sisältämä rikki ja raskasmetallit, fossiilisten polttoaineiden louhimisesta/pumppaamisesta ja jalostuksesta aiheutuvat haitat ympäristölle ja ihmisille.
- Miten kaikkia em. haittoja voidaan vähentää, esim. savukaasujen puhdistus, hiilidioksidin talteenotto.
- Taloudelliset ja sosiaaliset näkökulmat: polttoaineiden riittävyys, hinta, verotus, kansainväliset sopimukset esim. Kioton sopimus.

165.

Käsittele esim. seuraavia asioita:

- Vesimolekyylin rakenne (piirrä kuva). Osoita osittaisvaraukset ja vapaat elektroniparit.
- Perustele muoto ja sen ja osittaisvarausten perusteella poolisuus.
- Vetysidos ja sen vaikutus veden ominaisuuksiin (kiehumispiste, sulamispiste, pintajännitys)
- Jään kiderakenne ja tiheys vs. nestemäinen vesi.
- Näiden perusteella voit tarkastella myös biologisia vaikutuksia, esim. sen ilmiön merkitystä, että järven pohjaveden lämpötila on kesällä ja talvella noin +4 astetta.
- Ominaislämpökapasiteetti, voi myös kertoa sen merkityksestä luonnossa (vesistö tasaa lämpötilan vaihteluja).
- Pintajännitys, kapillaari-ilmiö, veden merkitys liuottimena eliöissä ja ympäristössä.
- Rapautuminen veden olomuodon muutosten ja veden aiheuttaman kulutuksen seurauksena.
- Kidevedelliset yhdisteet.

166.

a) Hiilidioksidipäästöt ovat lisääntyneet 57,12 miljoonasta tonnista 69,39 miljoonaan tonniin tarkastelujakson aikana. Suomen hiilidioksidipäästöistä valtaosa tulee energian tuotannosta. Suomessa on paljon teollisuutta, joka kuluttaa runsaasti energiaa, esimerkiksi metalliteollisuus. Myös liikenne ja lämmitys kuluttavat Suomessa runsaasti energiaa, koska täällä on pitkät välimatkat ja ilmasto on viileä. Suuri osa käytetystä energiasta on peräisin fossiilisista polttoaineista: kivihiilestä, öljystä ja maakaasusta. Fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet satoja miljoonia vuosia sitten maahan hautautuneesta ja puristuksiin jääneestä biomassasta, ja niiden uusiutuminen on niin hidasta, että ne ovat ihmiskunnan näkökulmasta uusiutumattomia. Niiden polttaminen lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja siten kiihdyttää kasvihuoneilmiötä.

   Suomen hiilidioksidipäästöjen kasvuun vaikuttaa energian kulutuksen kasvaminen, mikä taas johtuu yleisestä kulutuksen lisääntymisestä ja lisääntyneestä liikenteestä. Päästöjä voisi vähentää esim. seuraavilla keinoilla:

   - Korvataan fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energiamuodoilla (puu, vesivoima, tuulivoima, aurinkoenergia, maalämpö, biokaasu jne.) tai ydinenergialla.
   - Vähennetään energiankulutusta esim. tehostamalla teollisuuden ja liikenteen energiankäytön hyötysuhdetta, tiivistämällä yhdyskuntarakennetta (vähemmän matkustamisen tarvetta), suosimalla joukkoliikennettä ja kevyttä liikennettä, rakentamalla matalaenergiataloja, tiivistämällä ja eristämällä vanhoja rakennuksia. Myös yleinen kulutuksen ja liikkumisen (esim. matkustelun) vähentäminen vähentää energiankulutusta.
   - Hiilinielut, esim. metsät.

Metaanipäästöt ovat vähentyneet jonkin verran. Metaania syntyy orgaanisen aineen hajotessa hapettomissa oloissa esimerkiksi kaatopaikoilla, jätevedenpuhdistamoilla, soilla. Myös nautakarja tuottaa merkittävästi metaanipäästöjä, sillä naudoilla on pötsissään metaania tuottavia symbioottisia mikrobeja.

Metaanipäästöjä voidaan vähentää seuraavilla keinoilla:

- Biojätteen kompostointi kaatopaikalle viemisen sijaan (kaatopaikalla biojäte mädäntyy hapettomissa oloissa ja tuottaa metaania, kompostissa hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi).
- Orgaanisen jätteen (esim. karjanlanta, teollisuuden jäteliemet, kaatopaikat) mädättäminen kontrolloidusti biokaasuksi, jolloin syntyy metaania, mutta se käytetään polttoaineena eikä päästetä ilmaan.
- Polttotekniikoiden kehittäminen, jonka seurauksena syntyy vähemmän epätäydellisessä palamisessa syntyvää metaania.
- Lihan ja maidon kulutuksen vähentäminen (vähemmän nautakarjaa).

Näistä päästöjen vähenemiseen tarkastelujaksolla lienee vaikuttanut eniten biojätteen keräämisen yleistyminen sekä muun orgaanisen jätteen kompostointi tai biokaasutus. Kaatopaikoille viedään vähemmän orgaanista ainetta, joten metaania syntyy vähemmän. Lihan ja maidon kulutus ei ole vähentynyt, päinvastoin.

Dityppioksidipäästöt ovat vähentyneet 7,59 milj. tonnista 6,94 milj. tonniin CO_2 ekvivalenttia. Dityppioksidia syntyy maaperässä ja vesistöissä mikrobien käyttäessä typpiyhdisteitä energianlähteenään. Maaperän typpilannoitus siis lisää dityppioksidin muodostumista, ja suuri osa päästöistä onkin peräisin maataloudesta. Dityppioksidia muodostuu myös esimerkiksi liikenteessä, sillä auton polttomoottorin kuumuudessa ilman typpi ja happi reagoivat. Vähentämismahdollisuudet (joilla päästöjä on saatukin vähennettyä):

- typpilannoituksen määrän ja ajankohdan optimoiminen
- liikenteessä polttomoottorien ja katalysaattorien kehitys.

F-kaasujen päästöt ovat lisääntyneet tarkastelujakson aikana huomattavasti, mahdollisesti osittain siksi, että niillä on korvatttu otsonikerrokselle haitallisia halogenoituja kloorattuja ja bromattuja hiilivetyjä. Rikkiheksafluoridia käytetään sähkö- ja eletroniikkateollisuudessa, joka on kasvava ala. Osittain fluorattuja hiilivetyjä (HFC) käytetään jäähdytyslaitteissa, ponneaineina ja vaahtomuoveissa, PFC-päästöjä tulee esimerkiksi elektroniikka- ja sähköteollisuudesta, joissa niitä käytetään vettä ja tarttumista hylkivinä pinnoitteina. Kioton sopimus rajoittaa halogenoitujen hiilivetyjen käyttöä, mutta niitä ei voida kokonaan kieltää, koska korvaavia aineita on vähän.

b) GWP100 arvoon vaikuttaa se, miten tehokkaasti kaasu pystyy absorboimaan lämpösäteilyä ja myös sen elinikä ilmakehässä. Metaani absorboi lämpösäteilyä huomattavasti tehokkaammin kuin hiilidioksidi, minkä lisäksi sen elinikä ilmakehässä on huomattavasti pidempi. Hiilidioksidia poistuu ilmakehästä jatkuvasti kasvien yhteyttämisessä, metaanimolekyyli taas pysyy ilmakehässä keskimäärin 12 vuotta.

Jos asian haluaa selittää tosi tarkasti, voi selittää, miten kyseiset aineet absorboivat IR-säteilyä. Tämä menee kuitenkin lukiokemian yli reilusti. Hiilidioksidimolekyyli voi absorboida energiaa lineaarisen molekyylin venytys- ja taivutusvärähtelyihin, mutta metaanilla on viisiatomisena molekyylinä useampia erilaisia värähtelymahdollisuuksia, ja siksi se pystyy absorboimaan säteilyä laajalla alueella.

167.

- Talous- ja juomavettä saadaan esimerkiksi pinta- ja pohjavedestä (myös tekopohjavesi) tai käänteisosmoosilla merivedestä. Määrittele lyhyesti, mitä näillä tarkoitetaan ja mitä etuja ja haittoja näillä menetelmillä on (esim. hinta, tarvittavat kemikaalit, riittävyys).
- Pintaveden puhdistaminen: epäpuhtauksien saostaminen kemikaaleilla (rauta/alumiinisulfaatti, kalsiumhydroksidi), selkeytys, suodatus, pH:n säätö, aktiivihiilisuodatus, mikrobiologinen laatu (UV, klooraus, otsonointi, näiden menetelmien lyhyet kuvaukset).
- Pohjaveden käsittely: ilmastus, suodatus, kovuuden poistaminen (Mg^{2+} ja Ca^{2+} -ionien poistaminen), desinfiointi, pH:n säätö.
- Jäteveden puhdistaminen:
  - Kiinteiden aineiden erotus ja esiselkeytys ($\rightarrow$ jätteiden käsittely ja hyödyntäminen, esim. jätelietteen kompostointi)
  - Aktiivilieteallas, jossa jäteveteen pumpataan ilmaa ja mikrobit käyttävät vedessä olevia ravinteita ja orgaanista ainetta ravintonaan:
    - Orgaanisen aineen biologinen hajotus (mikrobiologisesti, $(CH_2O)_n + n\ O_2 \rightarrow n\ CO_2 + n\ H_2O$)
    - Orgaanisen typen ja fosfaatin hapettaminen nitraatiksi ja fosfaatiksi, typen poistaminen esim. mikrobiologisesti (denitrifikaatio), fosfaatin sitoutuminen mikrobimassaan
  - Jäljelle jääneen fosfaatin saostus jätevesistä esim. rautasuolojen avulla
  - Jälkiselkeytys, jossa kiinteään aineeseen sitoutuneet ravinteet laskeutuvat pohjaan ja puhdas vesi jatkaa matkaansa eteenpäin
- Menetelmiä on useita, mutta lienee riittävää, että kertoo muutamia esimerkkejä. Lisäksi voi esimerkiksi piirtää kuvan puhdistuksen vaiheista ja kertoa, että viemäriin ei saa laittaa suuria määriä mikrobeille haitallisia aineita, sillä ne vaikeuttavat jäteveden mikrobiologista puhdistusta.

10 Biokemia

Tehtävien 168–177 ratkaisut

168.

a) Yhteinen asia:

Sekä diffuusiossa että osmoosissa aineiden pitoisuuserot tasoittuvat.

Erot:

Osmoosissa siirtyy vain vesi (tai muu liuotin) puoliläpäisevän kalvon läpi, diffuusiossa kaikki liuoksen molekyylit liikkuvat vapaasti.

b) Kaiverrettaessa perunan soluja rikkoutuu, ja niistä vuotaneeseen solunesteeseen liukenee kolosta suolaa. Kolon liuos on huomattavasti väkevämpi kuin perunan solujen, minkä vuoksi soluista siirtyy vettä koloon. Ilmiö on osmoosi.

169.

a) Testosteronin molekyylikaava on $C_{19}H_{28}O_2$.

b) Testosteronin moolimassa on 288,42 g/mol.

c) $$n = \frac{m}{M} = \frac{11\,\text{mg}}{288{,}42\,\frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0{,}03813\,\text{mmol} \approx 0{,}038\,\text{mmol}$$

Vastaus: Mies voi vuorokaudessa tuottaa testosteronia $3{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol.

170.

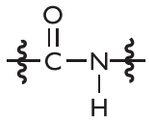
a) Triglyseridi on glyserolin ja kolmen rasvahapon esteri, jota kutsutaan arkikielessä rasvaksi.

b) Oligosakkaridi on muutaman (yleensä 3–10) sokeriyksikön muodostama (joskus haarautunut) ketju. Oligosakkarideja käytetään elintarvikkeissa ns. prebiootteina eli hyödyllisten mikrobien kasvua lisäävinä aineina. Ne eivät juurikaan pilkkoudu ruoansulatuksessa, mutta tietyt suoliston mikrobit voivat käyttää niitä ravintonaan.

c) Polysakkaridi on pitkä monosakkaridiyksiköistä koostuva ketju. Esimerkiksi tärkkelys, glykogeeni ja selluloosa ovat polysakkarideja.

d) Hiilihydraatit ovat monosakkarideista koostuvia yhdisteitä, joihin kuuluu mono- ja disakkaridien lisäksi erilaisia haarautumattomia ja haarautuneita polysakkarideja. Esimerkiksi tärkkelys, selluloosa ja sokerit ovat hiilihydraatteja. Hiilihydraatit ovat tärkeitä energiavarastoja, mutta ne toimivat myös esimerkiksi solukalvon ja monien proteiinien rakenneosina.

e) Peptidisidos on aminohappojen karboksyyliryhmän ja aminoryhmän välille syntyvä amidisidos:



Amidisidos voi syntyä myös muiden molekyylien välille, jos niissä on em. ryhmät, mutta tällöin sidosta kutsutaan vain amidisidokseksi, ei peptidisidokseksi.

f) Polypeptidi on lukuisien aminohappojen muodostama ketju, jossa aminohapot liittyvät toisiinsa peptidisidoksin.

g) Proteiini on aminohapoista muodostuva, suurikokoinen molekyyli. Polypeptidi ei ole sama asia kuin proteiini, vaan proteiini on polypeptidi, jolla on tietty muoto, jonka saavat aikaan vetysidokset ja muut polypeptidiketjun eri kohdissa sijaitsevien aminohappojen sivuketjujen väliset vuorovaikutukset. Proteiinilla on siis sekundääri-, tertiääri- ja kvaternaarirakenne.

h) Lipidit ovat yhdisteryhmä, johon kuuluvat esimerkiksi rasvat, steroidit ja fosfolipidit. Yhteistä lipideille on, että ne ovat suurikokoisia, heikosti veteen liukenevia molekyylejä.

171.

a) Kuvassa B liuos on laimeampi kuin punasolujen sisältö, minkä vuoksi soluihin imeytyy vettä ja ne turpoavat. Kuvassa C liuos on väkevämpi kuin solujen sisältö, minkä vuoksi soluista siirtyy vettä ulkopuoliseen liuokseen. Ilmiö on osmoosi, ja siinä vesi siirtyy puoliläpäisevän kalvon (tässä tapauksessa solukalvo) läpi siten, että pitoisuuserot tasoittuvat.

b) Jos ihmiselle annetaan suoraan suoneen puhdasta vettä, solujen sisään imeytyy vettä eli käy kuten kuvassa B: punasolut turpoavat ja voivat hajota.

172.

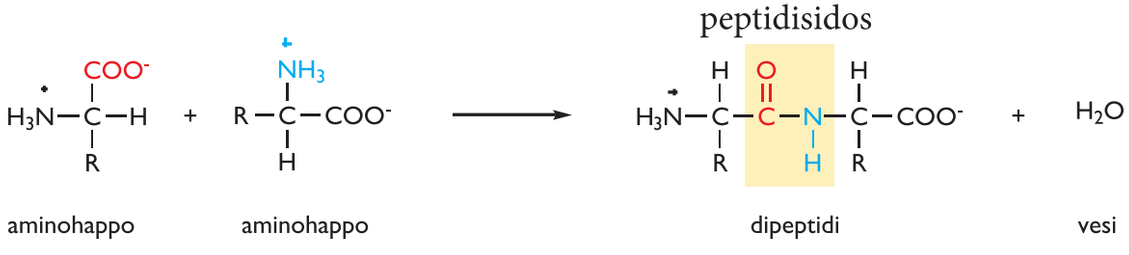
Tarkastele ainakin näitä asioita:

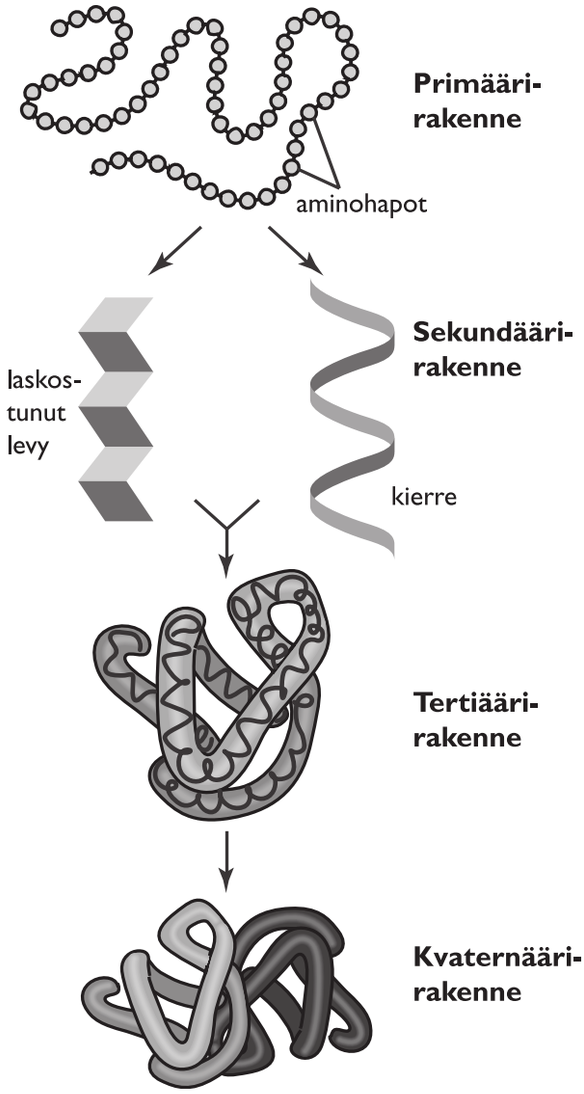
- Entsyymien rakenne: proteiinien rakentuminen, aktiivinen kohta, substraatin sitoutuminen entsyymiin (muoto, vuorovaikutukset entsyymin ja substraatin välillä).
- Kullekin reaktiolle oma entsyyminsä, kullakin entsyymillä optimiolosuhteensa.
- Entsyymit ovat biologisia katalyyttejä, jotka pienentävät reaktion aktivaatioenergiaa ja siten nopeuttavat reaktiota.
- Entsyymit ihmiselimistössä, esimerkkinä vaikkapa ruoansulatus.
- Entsyymit arkielämässä: esim. pesuaineiden entsyymit.
- Teollisuudessa esim. synteesien tehostaminen, elintarviketeollisuus.
- Monesti entsyymi on ympäristöystävällisempi vaihtoehto: se vähentää muiden kemikaalien tarvetta, reaktioon tarvittavaa energiaa ja haitallisia sivutuotteita ja jätteitä. Entsyymit ovat biohajoavia.
- Bioteknologia ja geenitekniikka: esim. PCR (DNA:n monistus entsyymien avulla).

173.

a) DNA:n ohjeen perusteella kootaan aminohappoketju, jossa aminohapot liittyvät toisiinsa kondensaatioreaktiossa. Amino- ja karboksyylihapporyhmien väliin siis syntyy peptidisidos.

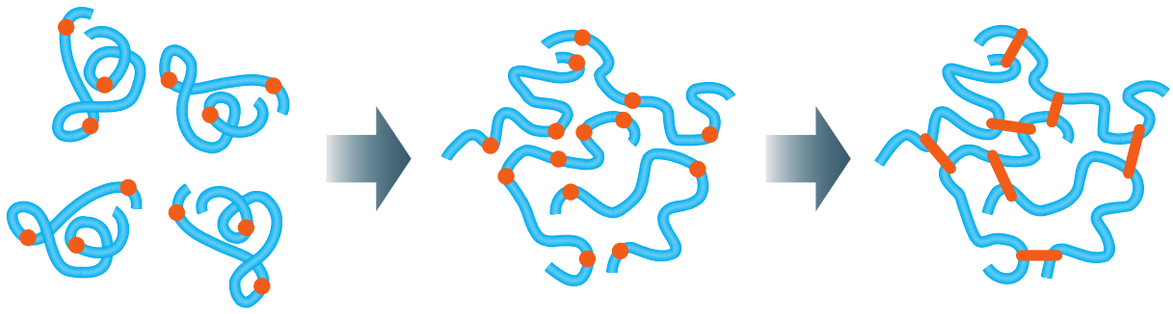
Aminohappoketju laskostuu toimivaksi proteiiniksi vetysidosten ja muiden heikkojen sidosten avulla. Ensin muodostuu sekundäärirakenne, jossa aminohappoketju muodostaa kierteen tai laskostuneen levyn, jota pitävät koossa vetysidokset. Tämä rakenne laskostuu edelleen tertiäärirakenteeksi ja kvaternäärirakenteeksi (kuva). Proteiinin muoto on tärkeä toiminnan kannalta, siksi pienikin muutos aminohappoketjussa voi haitata proteiinin toimintaa.





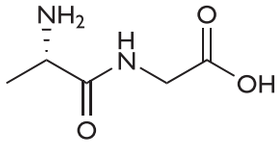
b) Ne toimivat esimerkiksi rakenneproteiineina (esim. kollageeni, keratiini), vasta-aineina, reseptoreina eli vastaanottajamolekyyleinä solukalvolla, entsyymeinä, hormoneina ja kuljetusproteiineina (esim. hemoglobiini).

c) Valkuaisen proteiinit denaturoituvat. Kuumennus avaa niiden vetysidokset, ja rakenne muuttuu. Proteiinit eivät laskostu enää normaalisti, vaan ne muodostavat verkkorakenteen, mikä kiinteyttää valkuaisen ja muuttaa sen läpinäkymättömäksi.

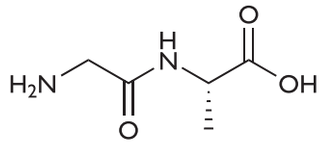


174.

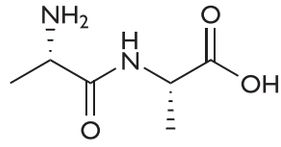
Myös yksittäisen aminohapon molekyylit voivat reagoida keskenään, joten tuloksena voi teoriassa olla neljä mahdollista dipeptidiä:



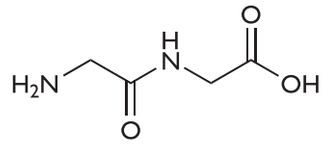
Ala-Gly



Gly-Ala



Ala-Ala

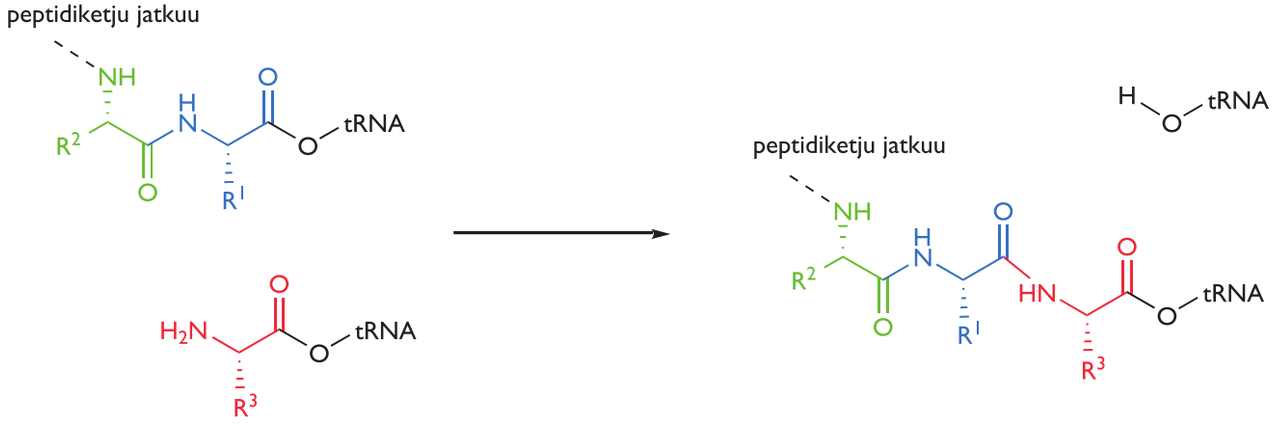


Gly-Gly

Siksi *laboratorion* peptidisynteesissä osa funktionaalisista ryhmistä on *suojattava*, etteivät ne reagoisi reaktio-olosuhteissa. Suojauksessa funktionaalista ryhmää muokataan, esimerkiksi karboksyyliryhmästä valmistetaan sopiva esteri tai amiinista tietty amidi. Tällöin vältytään muiden peptidien muodostumiselta.

Lisäksi peptidisidoksen muodostava karboksyyliryhmä on reaktiota varten aktivoitava eli muunnettava reaktiivisemmaksi funktionaaliseksi ryhmäksi (ei piirretty kuvaan).

Luonnossa aminohappoketjun rakentuessa proteiinisynteesissä lähetti-RNA:han liittyy kaksi eri siirtäjä-RNA:ta (tRNA). Toisessa siirtäjä-RNA:ssa on rakentuva peptidiketju ja toisessa vain yksi aminohappo, jotka reagoivat keskenään:



Reaktiota katalysoi ribosomaalinen peptidyylitransferaasi.

175.

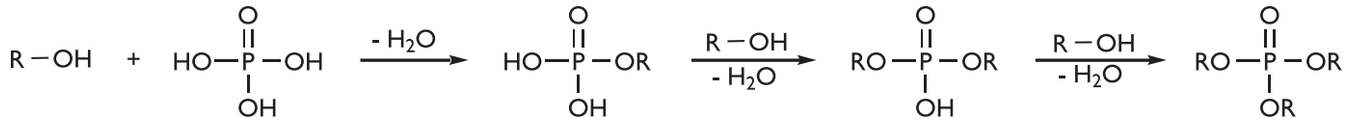
Proteiinin aminohappojen hydrofobiset eli vesipakoiset ryhmät pyrkivät asettumaan vedestä poispäin ja hydrofiiliset eli vesihakuiset pyrkivät vettä kohti.

Siten vesiliukoisessa proteiinissa, kuten entsyymissä, pooliset aminohapot ovat enemmistönä veden kanssa vuorovaikuttavassa pintarakenteessa. Poolittomia aminohappoja on eniten proteiinin sisäosissa, jonne vesimolekyylit eivät pääse tunkeutumaan.

Kalvoproteiineissa poolittomia aminohappoja on eniten solukalvoon (pooliton) kiinnittyvässä osassa. Poolisia aminohappoja on peptidiketjun osassa, joka jatkuu solukalvon ulkopuolelle (vesiympäristö).

176.

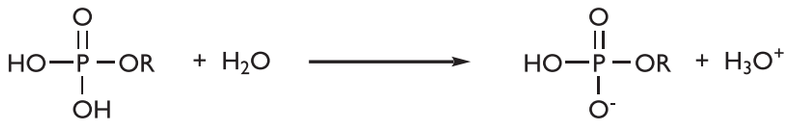
a)



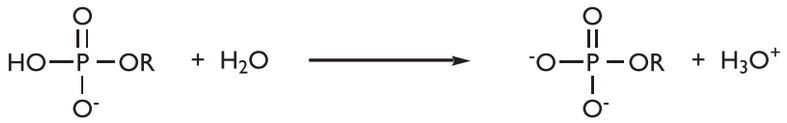
alkoholi — fosforihappo — fosforihapon monoesteri — fosforihapon diesteri — fosforihapon triesteri

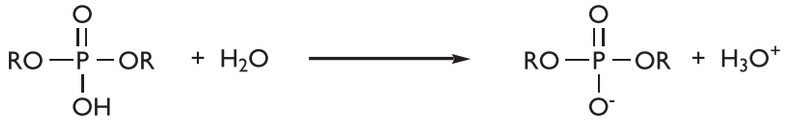
R = molekyylin loppuosa

b)



fosforihapon monoesteri

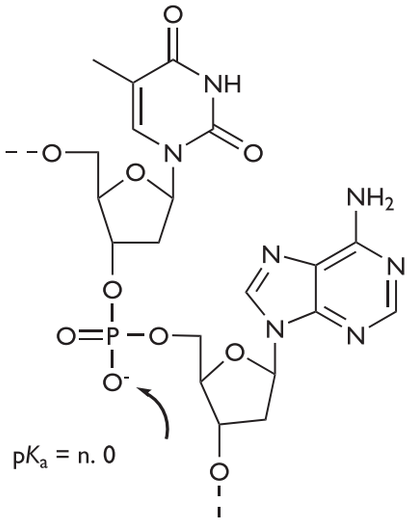




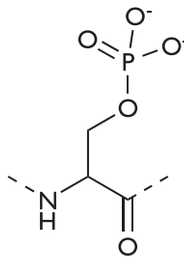
fosforihapon diesteri

c) DNA- tai RNA-ketjun rakenne on tuttu esimerkki. Alla olevassa kuvassa on pätkä DNA-ketjua. DNA:n deoksiriboosisokeriosat liitetään toisiinsa fosforihapon avulla, jolloin fosforihaposta muodostuu diesteri. Fosfodiesterin fosforiin liittyy OH-ryhmä, jonka pK_a on n. 0. Tästä johtuen fysiologisessa pH:ssa 7,4 vallitsee negatiivisesti varautunut emäsmuoto. Ks. happo-emästehtävä X, s. XX.

Proteiinin kytkeminen päälle tai pois päältä voidaan saada aikaan esteröimällä peptidiketjun seriinin OH-ryhmä fosforihapolla, jolloin muodostuu fosforihapon monoesteri.

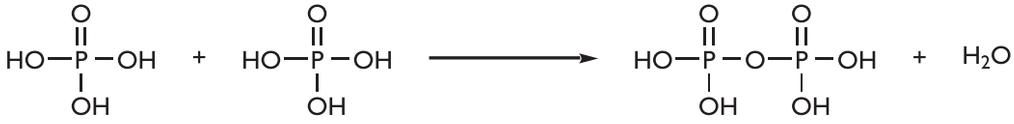


DNA-ketjua



fosforyloitu seriinin
OH-ryhmä proteiinissa

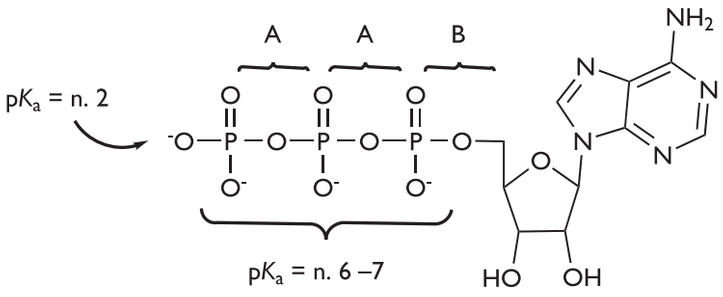
d)



fosforihappo

fosforihappoanhydridi

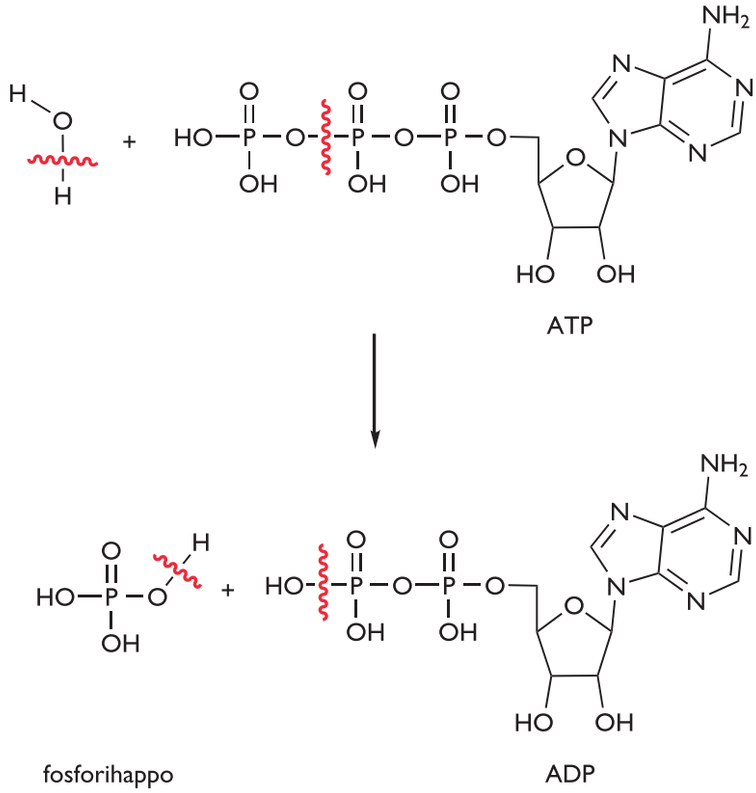
e) Fosfoanhydridi- ja -esterisidokset on merkitty alla olevaan kuvaan. Kuvassa on myös ATP:n fosfaattiosissa olevien OH-ryhmien pK_a-arvot (n. 2 ja n. 6–7). Näistä voidaan päätellä, että fysiologisessa pH:ssa kuvaan piirretty rakenne on vallitsevin ionimuoto. Ks. happo-emästehtävä X, s. XX.



A: fosfoanhydridisidos
B: fosfoesterisidos

ATP

f) Lähtöaineiden katkeavat ja lopputuotteiden muodostuvat sidokset on merkitty aaltoviivalla:



$\Delta H = \Delta H_{\text{katkeavat sidokset}} - \Delta H_{\text{muodostuvat sidokset}}$

Sidosten katkaisemiseen kuluu energiaa.

Sidosten muodostuessa ympäristöön vapautuu energiaa.

Sidosenergioiden arvoja:

$\Delta H_{\text{O–H}} = 490$ kJ/mol (veden katkeava sidos)

$\Delta H_{\text{O–P}} = 276$ kJ/mol (ATP:n katkeava sidos)

$\Delta H_{\text{O–H}} = 440$ kJ/mol (fosforihapon muodostuva sidos)

$\Delta H_{\text{O–P}} = 350$ kJ/mol (ADP:n muodostuva sidos)

$\Delta H = (276 + 490 - 350 - 440)$ kJ/mol $= -24$ kJ/mol

Reaktio on eksoterminen.

Huomaa, että ATP:n fosfoanhydridisidoksen pilkkoutuessa *ei* vapaudu energiaa, vaan siinä *kuluu* energiaa. ATP:n hyödyntäminen energianlähteenä perustuu siihen, että lopputuotteiden sidosten muodostuessa vapautuu energiaa enemmän kuin mitä ATP:n fosfoanhydridisidosten katkaisuun kuluu. ATP:n fosfoanhydridisidoksia kutsutaan usein ”korkeaenergisiksi sidoksiksi”, mikä johtaa helposti virhetulkintoihin. Kuten tehtävä osoittaa, fosfoanhydridisidoksen energia on *pieni* verrattuna muodostuvien tuotteiden sidosenergioihin. Fosfoanhydridisidos on suhteellisen *heikko*, ja siksi se katkeaa helposti. Lopputuotteet (ADP ja fosforihappo) ovat pysyvämpiä kuin lähtöaine (ATP). Siten energian vapautuminen ATP:n hydrolyysissä johtuu kemiallisesta muutoksesta lähtötilannetta vakaampaan tilaan – ei fosfoanhydridisidoksista itsessään.

Siten on myös väärin sanoa, että ”korkeaenergisiin sidoksiin varastoitunut energia vapautuu, kun sidos katkeaa”. Väite löytyy useista kirjoista. Energiaa vapautuu tosiasiassa lopputuotteiden sidosten muodostuessa.

ATP:n hydrolyysissä energia vapautuu lämpönä. Jotta energia saataisiin hyödynnettyä, ATP:n on reagoitava energiaa tarvitsevan reaktion lähtöaineen kanssa, jolloin reaktio pääsee käyntiin.

Vastaus: ATP:n hydrolyysin ΔH on –24 kJ/mol.

177.

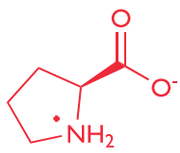
a) pK_a katsotaan käyriltä kohdista, joissa happoa ja sitä vastaavaa emästä on yhtä paljon.

Tarkat kirjallisuusarvot:

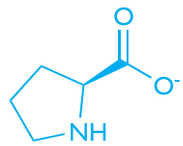
proliini: pK_1 = 1,99 (RCO_2H); pK_2 = 10,96 (R_2NH^+),

glutamiinihappo: pK_1 = 2,19; pK_2 = 4,25; pK_3 = 9,67.

b) Proliini:

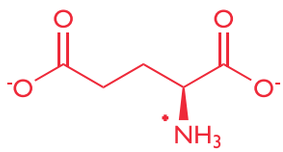


n. 99 %

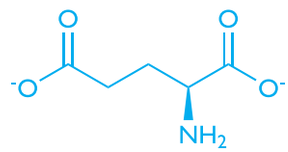


n. 1 %

Glutamiinihappo:



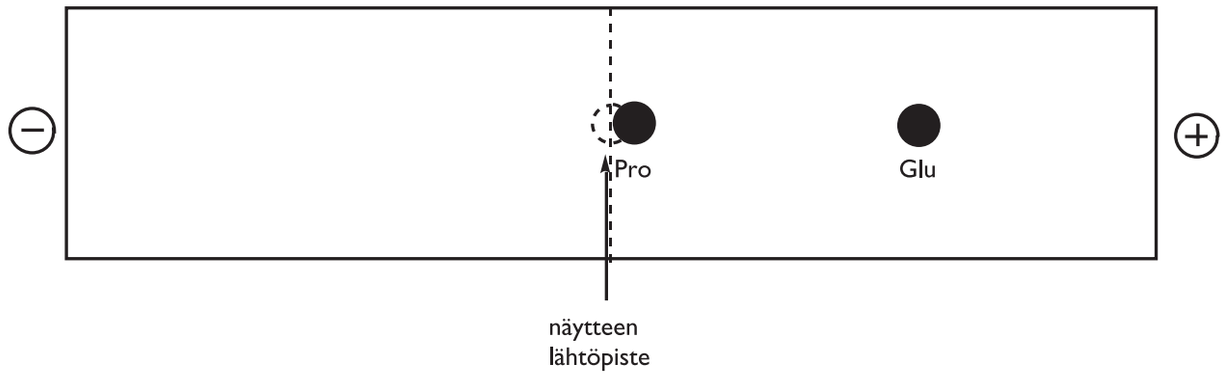
n. 82 %



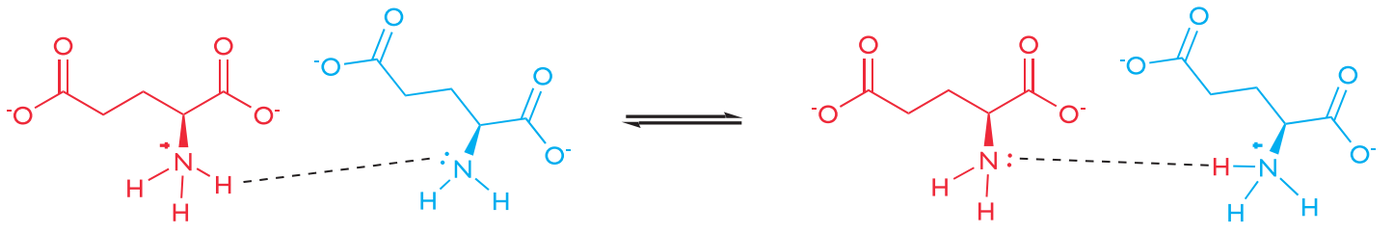
n. 18 %

c) Proliinia on 99 % ulospäin varauksetonta kahtaisionimuotoa. Negatiivisesti varautunutta muotoa on vain 1 %, minkä johdosta proliini liikkuu vain hieman kohtia anodia (+-napa).

Glutamiinihappo liikkuu voimakkaasti kohti anodia: 82 % on ionimuotoa, jonka nettovaraus on –1. 18 % on muotoa, jonka nettovaraus on –2.



Miksi esimerkiksi glutamiinihapon ionimuodot eivät eroa toisistaan elektroforeesiajossa toisistaan? Tämä johtuu siitä, etteivät ionimuodot ole pysyviä. Ne voivat vaihtaa protonia keskenään vetysidoksen kautta:



Vaikka ionimuotojen välillä voi tapahtua protoninsiirtoreaktioita, tietyssä pH:ssa ionimuotojen suhteet pysyvät samana.

d) Isoelektrisen pisteen (pI) tarkat kirjallisuusarvot:

proliini: 6,48,

glutamiinihappo: 3,22.

Isoelektristä pistettä vastaavan pH:n yläpuolella aminohapon nettovaraus (kaikkien ionimuotojen yhteenlaskettu varaus) on aina negatiivinen.

Isoelektristä pistettä vastaavan pH:n alapuolella aminohapon nettovaraus (kaikkien ionimuotojen yhteenlaskettu varaus) on aina positiivinen.

10 Biokemia

Ylioppilastehtävien 178–188 ratkaisut

178.

Vastauksessa on syytä käsitellä ainakin seuraavat asiat:

- Hiilihydraattien luokittelu, yleisimmät hiilihydraatit.
- Hiilihydraatteja muodostuu luonnossa kasvien ja levien soluissa, yhteyttäminen on tässä avainsana. Selitä yhteyttäminen ja kirjoita reaktioyhtälö, lisäksi on syytä mainita, että yhteyttämisen lopputuotetta glukoosia käytetään edelleen muiden hiilihydraattien, kuten tärkkelyksen ja selluloosan valmistuksessa.
- Hiilihydraatteihin kuuluvat esimerkiksi monosakkaridit, disakkaridit, oligosakkaridit ja polysakkaridit (tärkkelys ja selluloosa). Näiden rakenne tulee esitellä rakennekaavoin. Aldoosit ja ketoosit.
- Monosakkaridien avoketjuiset ja rengasmuodot, reaktiot (ainakin disakkaridin muodostuminen).
- Disakkaridien muodostuminen, rakenne, yleisimpiä disakkarideja.
- Polysakkaridit: tärkkelyksen ja selluloosan rakenne ja erot (glukoosiyksiköiden sitoutuminen eri päin, tärkkelyksen kiertyminen, selluloosan suora glukoosiketju ja vetysidokset), voi mainita myös eläinsolujen glykogeenin.
- Kaikkien edellämainittujen osalta kemialliset ominaisuudet kuten liukoisuus, yleisimmät reaktiot, rakennekaavat. Lisäksi kannattaa kertoa hieman niiden ominaisuuksistaja ja siitä, mihin solut käyttävät niitä, esim. selluloosa lujaa, ei sula ruoansulatuksessa, tärkkelys ja glykogeeni solujen varastomolekyylejä.
- Tyypilliset reaktiot kuten soluhengitys, käyminen, funktionaalisten ryhmien reaktiot. Merkitys eliöiden energianlähteenä.
- Teollinen käyttö: esim. paperin valmistus selluloosasta, elintarviketeollisuus (sokeri ja tärkkelys), alkoholin valmistus (käyminen).

Pieniä puutteita voi paikata käsittelemällä jotain aluetta tarkemmin, esim.

- Osoitusreaktiot (tärkkelyksen osoittaminen jodilla, Fehlingin liuos) ja muita reaktioita, esim. esteröityminen (esim. selluloosa-asetaatti), di- ja polysakkaridien hydrolyysi.
- Muut hiilihydraatit, esim. nukleiinihappojen sokeriosat, solun pintarakenteiden hiilihydraatit.

179.

a) DNA (deoksiribonukleiinihappo) muodostuu nukleotideista, joissa on heterosyklinen emäs, sokeriosa (deoksiriboosi) ja fosfaattiryhmä (nämä kannattaa merkitä kuvaan). DNA koostuu neljänlaisista nukleotideista: adeniini, tymiini, sytosiini ja guaniini. Nukleotidit polymeroituvat pitkäksi ketjuksi (DNA) siten, että yhden nukleotidin fosfaattiosa ja toisen nukleotidin OH-ryhmä muodostavat esterisidoksen.

b) Ketjuja pitävät yhdessä vetysidokset, jotka myös määräävät, mitkä emäkset voivat olla vastakkain vierekkäisissä ketjuissa. Vastakkain ovat adeniini ja tymiini tai guaniini ja sytosiini. Vetysidokset syntyvät typen tai hapen ja vedyn välille. Kun DNA:n sisältämää informaatiota tarvitaan, kaksoiskierre avautuu. DNA voi monistua siten, että kierre avautuu ja molempien juosteiden viereen rakennetaan uusi vastinjuoste.

c) RNA:ssa tymiinin korvaa urasiili. RNA:ssa (ribonukleiinihapossa) on sokeriosana riboosi kun taas DNA:ssa deoksiriboosi. Nämä eroavat toisistaan vain hieman: deoksiriboosissa on yksi OH-ryhmä vähemmän. RNA on yleensä yksijuosteinen, DNA:ssa on kaksi rinnakkaista juostetta.

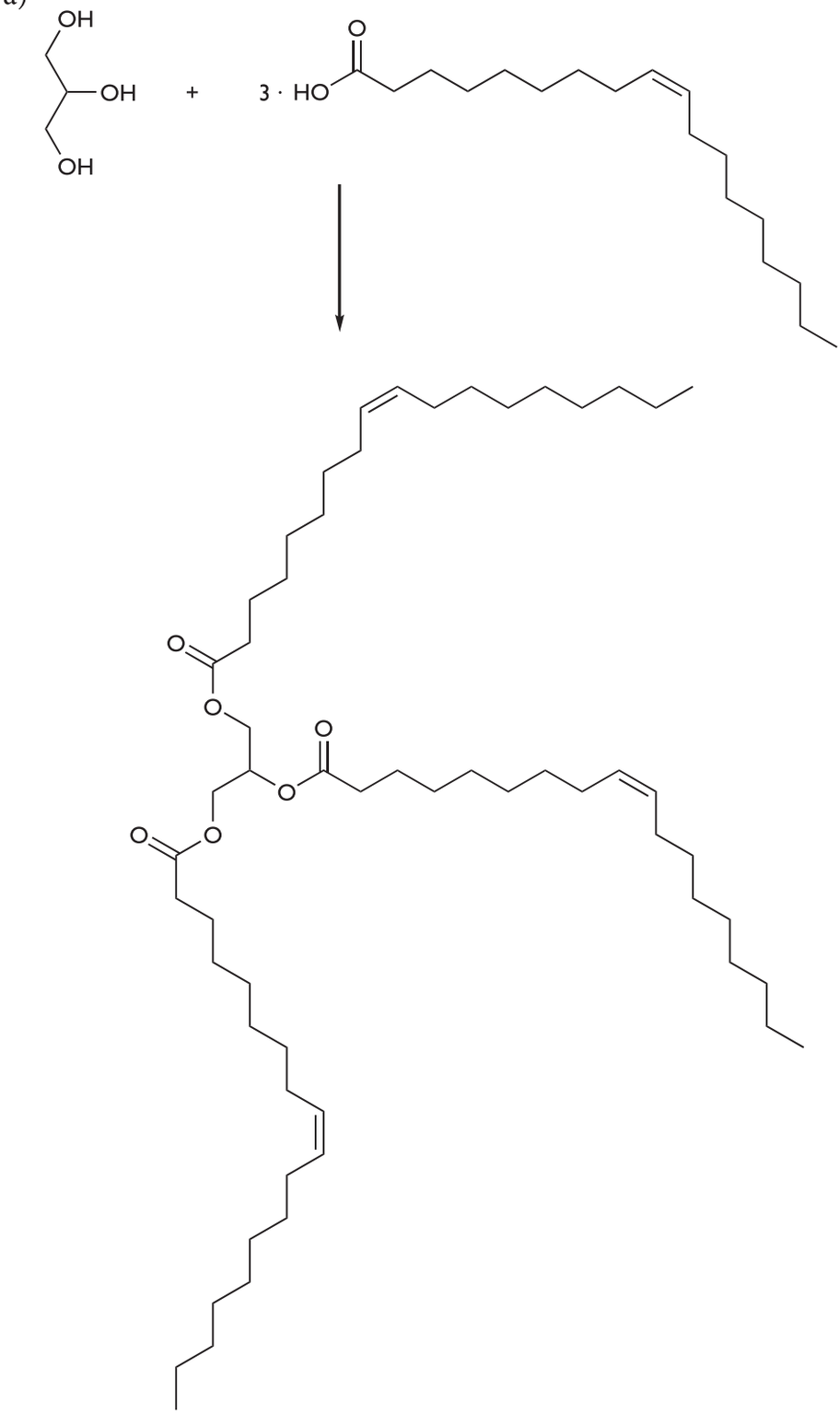
180.

Ainakin seuraavat asiat olisi hyvä mainita:

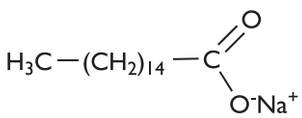
- Aminohappojen rakenne: aminoryhmä, karboksyyliryhmä, kahtaisioni, kiraalisuus, esimerkkinä jonkin aminohapon rakennekaava.
- Aminohapot muodostavat kondensaatioreaktiossa peptidiketjun, peptidisidos.
- Soluissa peptidiketjun aminohappojärjestyksen määrää DNA:n emäskolmikkojen järjestys, RNA vie viestin tumasta solulimaan, jossa proteiinisynteesi tapahtuu.
- Valmis peptidiketju saa sekundääri-, tertiääri- ja kvaternaarirakenteen (näistä kannattaa piirtää havainnolliset kuvat). Nämä rakenteet syntyvät vetysidosten ja muiden heikkojen sidosten seurauksena. Jos yksikin aminohappo on väärä, proteiini ei välttämättä saa oikeaa muotoa ja toimii huonosti. Muoto on proteiinin toiminnalle oleellinen.
- Eläinsoluissa n. 20 aminohappoa, joista osa saatava ravinnosta (välttämättömät aminohapot), osan elimistö valmistaa muista aminohapoista.

181.

a)

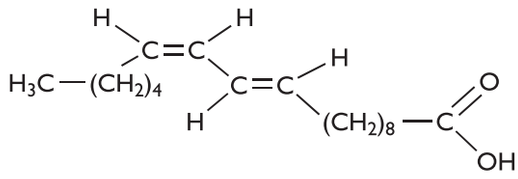


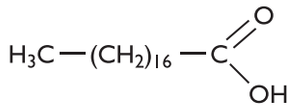
b)



natriumpalmitaatti

c) Ensimmäisenä linolihapon isomeerin rakennekaava ja toisena siitä saatu tyydyttynyt rasvahappo.





d) Lasketaan reagoimattoman jodin ainemäärä. Reaktioyhtälöstä nähdään, että natriumtiosulfaattia kuluu kaksinkertainen ainemäärä verrattuna jodiin eli jodia on puolet kuluneen natriumtiosulfaatin ainemäärästä.

$n(I_2) = 0{,}5 \cdot n(Na_2S_2O_3) = 0{,}5 \cdot V(Na_2S_2O_3) \cdot c(Na_2S_2O_3)$

Lasketaan reagoimattoman jodin massa:

$$m(I_2) = M(I_2) \cdot n(I_2) = M(I_2) \cdot 0{,}5 \cdot V(Na_2S_2O_3) \cdot c(Na_2S_2O_3)$$
$$= 253{,}81 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}026\,\text{l} \cdot 0{,}142 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$
$$= 0{,}371\,\text{g}$$

Reagoineen jodin massa on siis 43,8 g – 0,371 g = 43,429 g.

Jodin määrä /100 g rasvaa: $\frac{100\,\text{g} \cdot 43{,}429\,\text{g}}{35{,}3\,\text{g}} = 123{,}083286\,\text{g}$

Jodiluku on siis 123 g /100 g eli 123.

Vastaus: Jodiluku on 123.

182.

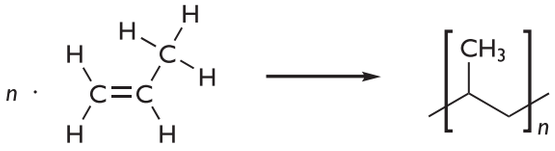
a) Käsittele ainakin seuraavia asioita:

- Esimerkkireaktio, jossa glyseroli ja kolme rasvahappoa, nämä muodostavat esteröitymisreaktiossa triglyseridin. Selitä, mikä on rasvahappo ja mikä on rasva.
- Tyydyttynyt rasva: ei kaksoissidoksia. Kertatyydyttymätön: yksi kaksoissidos. Monityydyttymätön: useampia kaksoissidoksia. Kaksoissidokset taivuttavat rasvahappomolekyylin muotoa, jolloin molekyylit eivät voi pakkautua tiiviisti, ja heikot vuorovaikutukset molekyylien välillä jäävät vähäisiksi → rasva pehmeää tai juoksevaa; tyydyttynyt rasva kovaa. Eläinrasvat ovat usein tyydyttyneitä, kasvirasvat pehmeitä (poikkeus: palmuöljy ja kookosrasva). Kovia rasvoja pidetään terveydelle haitallisina, sillä ne voivat vähitellen kertyä verisuonten seinämiin ja aiheuttaa verenkiertoelimistön sairauksia.

b) E-vitamiini on suuri molekyyli, jossa on pitkä hiilivetyketju ja vähän poolisia ryhmiä. Siksi se liukenee huonosti veteen mutta hyvin rasvoihin.

c) Tuotteessa on vähän maitosokeria eli laktoosia. Osalta ihmisistä puuttuu laktoosia pilkkova laktaasientsyymi, tai sitä erittyy vähän. Siksi laktoosi ei heillä pilkkoudu kunnolla ohutsuolessa, vaan se kulkeutuu paksusuoleen, jossa bakteerit käyttävät sitä ravintonaan. Tämä voi aiheuttaa kaasun muodostumista tai ripulia.

d) Propeeni polymeroitumisreaktio:

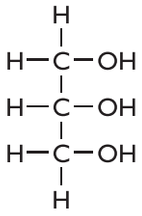


Rasian poltto:

$2(C_3H_6)_n + 9nO_2 \rightarrow 6nCO_2 + 6nH_2O$

183.

a) Tuote on glyseroli.



b) Reaktio 2:

palmitiinihappo — natriumpalmitaatti

Reaktio 3:

palmitiinihappo — palmitiinihapon metyyliesteri

c) Kova vesi tarkoittaa sitä, että vedessä on liuenneena paljon mineraaleja, esimerkiksi kalsiumioneja. Tällöin saippua ei vaahtoa vaan reagoi kalsiumin kanssa muodostaen valkoista sakkaa.

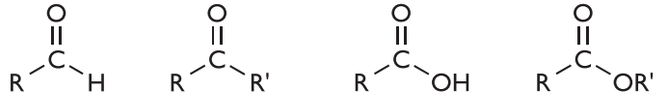
$2\ C_{15}H_{31}COO^- + Ca^{2+} \rightarrow (C_{15}H_{31}COO)_2Ca$

Kova vesi siis heikentää saippuan tehoa.

184.

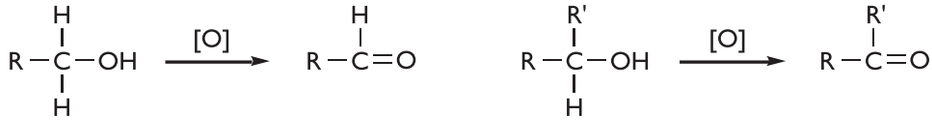
a) Tehtävässä käytetään ilmaisua kiraalinen hiiliatomi. Parempi termi olisi asymmetrinen hiiliatomi, sillä kiraalisuus on yhdisteen, ei atomin ominaisuus.

- Karbonyyliyhdisteitä ovat kaikki orgaaniset yhdisteet, joissa on ryhmä >C=O.

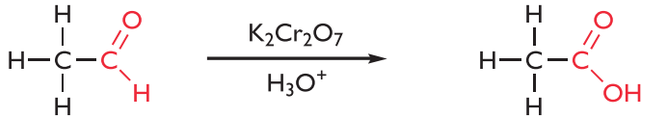


aldehydi ketoni karboksyylihappo esteri

- Aldehydejä ja ketoneja syntyy, kun hapetetaan alkoholeja. Primääriset alkoholit → aldehydit, sekundääriset alkoholit → ketonit. Pelkistyminen päinvastoin.

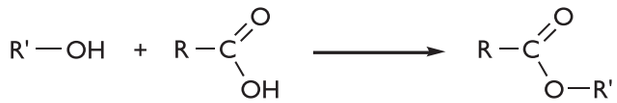


- Aldehydit hapettuvat eteenpäin karboksyylihapoiksi (esimerkki). Karboksyylihapoissa karbonyyliryhmä on osa karboksyyliryhmää.



etanaali etaanihappo

- Ketonit eivät voi hapettua, sillä niissä karbonyyliryhmään ei ole sitoutunut vetyatomeja.
- Karboksyylihapot voivat vastaavasti pelkistyä aldehydeiksi ja edelleen alkoholeiksi.
- Karboksyylihapot voivat luovuttaa vetyionin eli niiden vesiliuokset ovat happamia.
- Karboksyylihapot muodostavat alkoholien kanssa estereitä kondensaatioreaktiossa.

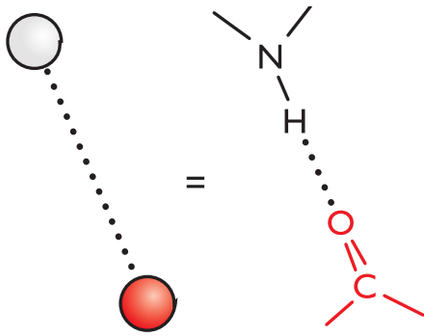


alkoholi happo esteri

- Esterihydrolyysi (edelliselle reaktiolle vastakkainen reaktio).
- Poolisuuden vertailu (hydroksyyliryhmä hyvin poolinen, karbonyyliryhmä jonkin verran poolinen).
- Protoninsiirtoreaktiot.

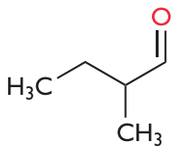
b) Karboksyylihappojen OH-ryhmä ja >C=O aikaansaa lujia vetysidoksia, jotka puolestaan aikaansaavat korkean kiehumispisteen. Aldehydeillä ja ketoneilla ei muodostu vetysidoksia, koska niissä ei ole sellaisia vetyatomeja, jotka kiinnittyvät hyvin elektronegatiiviseen atomiin. Ne ovat kuitenkin jonkin verran poolisia, sillä elektronegatiivinen happi vetää elektroneja puoleensa voimakkaammin kuin hiili. Siten molekyylit voivat muodostaa keskenään vetysidoksia heikompia dipoli-dipolisidoksia. Aldehydien ja ketonien kiehumispisteet ovat toisaalta korkeampia kuin vastaavien alkaanien, koska alkaanimolekyylien välillä on vain dipoli-dipolisidoksia heikompia dispersiovoimia.

c) Karbonyyliryhmä on poolinen, mikä aiheuttaa vetysidosten muodostumisen polypeptidiketjun eri kohtien aminohappojen välille. Yhden aminohapon karbonyylihapen ja toisen aminohapon aminoryhmän vedyn välille syntyy vetysidos.

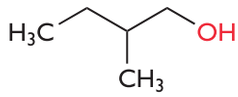


d)

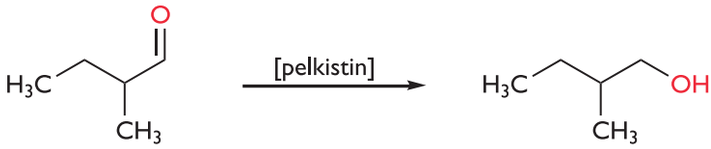
A



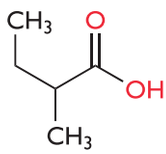
B



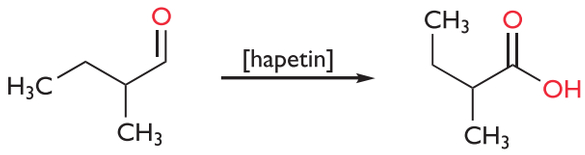
B:n muodostuminen:



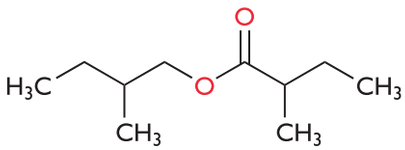
C



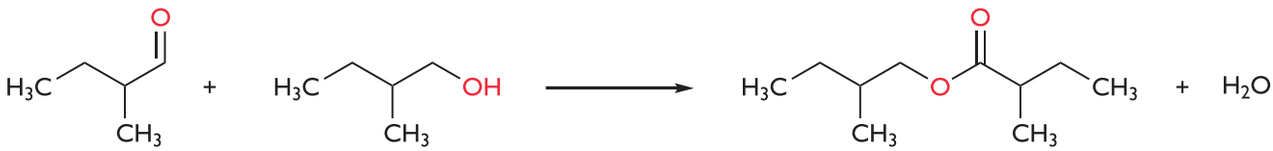
C:n muodostuminen:



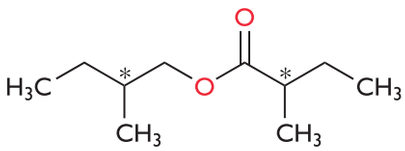
D



D:n muodostuminen:

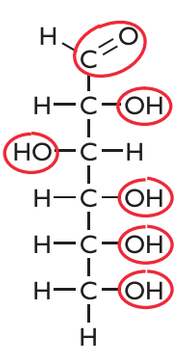


e) Yhdisteellä on optisia isomeereja, sillä molekyylissä on kaksi hiiltä, joihin on sitoutunut neljä erilaista ryhmää. Yhdisteellä ei ole *cis-trans*-isomeriaa, sillä siinä ei ole hiilten välisiä kaksoissidoksia eikä rengasrakennetta.

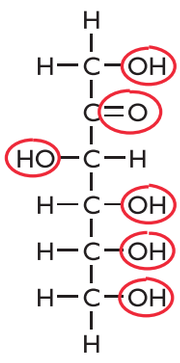


185.

a) Esimerkkinä aldoheksoosista voi esittää vaikkapa glukoosin ja ketoheksoosina fruktoosin. Näiden rakennekaavat ovat avoketjuisina (funktionaaliset ryhmät ympyröity):

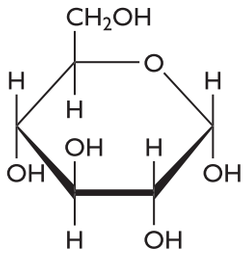


glukoosi

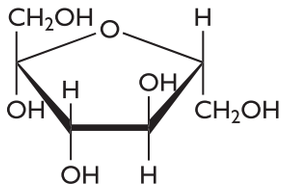


fruktoosi

ja rengasrakenteisina:

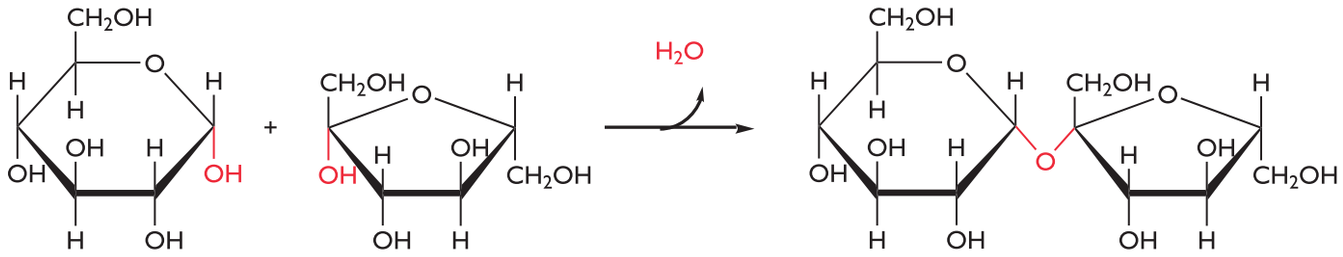


glukoosi



fruktoosi

b) Esim. sakkaroosin muodostuminen:



glukoosi fruktoosi sukroosi

c) Lasketaan glukoosipitoisuudet mmol/l:

$$\frac{0{,}70\ \frac{\text{g}}{\text{l}}}{180{,}156\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3{,}9\ \frac{\text{mmol}}{\text{l}}$$

$$\frac{1{,}6\ \frac{\text{g}}{\text{l}}}{180{,}156\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 8{,}9\ \frac{\text{mmol}}{\text{l}}$$

Ensimmäinen arvo on normaali, toinen selvästi kohonnut.

d) Reaktiossa glukoosin aldehydiryhmä hapettuu karboksyyliryhmäksi ja Cu^{2+}-ionit pelkistyvät Cu^{+}-ioneiksi. Tiilenpunainen saostuma on kuparioksidia Cu_2O.

Osareaktiot:

$C_6H_{12}O_6(aq) + H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_7(aq) + 2\ H^+(aq) + 2\ e^-$

$2\ Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- + H_2O(l) \rightarrow Cu_2O(s) + 2\ H^+(aq)$

Kokonaisreaktio:

$C_6H_{12}O_6(aq) + 2\ Cu^{2+}(aq) + 2\ H_2O(l) \rightarrow C_6H_{10}O_7(aq) + 4\ H^+(aq) + Cu_2O(s)$

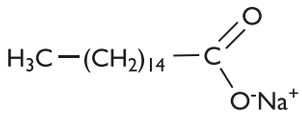
Koska liuos emäksinen, lisätään neljä OH^--ionia molemmille puolille:

$C_6H_{12}O_6(aq) + 2\ Cu^{2+}(aq) + 4\ OH^-(aq) \rightarrow C_6H_{10}O_7(aq) + 2\ H_2O(l) + Cu_2O(s)$.

186.

a) Etikka on etaanihapon CH3COOH vesiliuos.

b) Saippua on jonkin rasvahapon natriumsuola. Saippuaa valmistetaan hydrolysoimalla rasvahapon triglyseridiä emäksellä, esim. NaOH:lla. Esimerkkinä natriumpalmitaatti:



c) Taloussokeri on sakkaroosia, joka on fruktoosista ja glukoosista muodostunut disakkaridi.

d) Ruokaöljy on rasva ja pääosin tyydyttymättömien rasvahappojen ja glyserolin muodostama triesteri. Eri kasveista saatavien öljyjen rasvahappokoostumukset ovat erilaiset.

e) Bensiini on tyydyttyneiden hiilivetyjen seos, jota saadaan tislaamalla raakaöljystä. Suurin osa molekyyleistä sisältää 4–10 hiiliatomia.

f) Tärkkelys on lukuisista glukoosiyksiköistä muodostunut, haarautunut tai haarautumaton polysakkaridi. Siinä glukoosiyksiköt sijaitsevat ketjussa samoin päin erotuksena selluloosasta, jossa joka toinen yksikkö on ”nurinpäin”.

187.

a) Maito on emulsio, jonka valkoinen väri ja läpinäkymättömyys johtuvat kolloideista, pienistä rasva- ja valkuaispallosista. Kolloidit estävät valon kulkemisen nesteen läpi suoraviivaisesti, minkä vuoksi maito ei ole läpinäkyvää.

b) Kananmunassa on proteiineja, joiden muoto muuttuu kuumennettaessa eli ne denaturoituvat. Proteiinien vetysidokset aukeavat, ja niiden tertiaarirakenne hajoaa. Denaturoituneet proteiinisäikeet tarttuvat toisiinsa ja muodostavat verkon, jolloin kananmunasta tulee kiinteä.

c) Ihmisen ruoansulatuksessa on useita entsyymejä, jotka pilkkovat tärkkelystä pienemmiksi osiksi ja lopulta monosakkarideiksi. Monosakkarideista saadaan energiaa soluhengityksessä. Sen sijaan selluloosaa pilkkovia entsyymejä ihmisellä ei ole. Selluloosan rakenne on myös hyvin kestävä, sillä useat selluloosamolekyylit sitoutuvat tiiviisti yhteen vetysidoksin. Siten vesiliukoiset entsyymit eivät pääse niihin helposti käsiksi.

d) Vetyperoksidi hajoaa herkästi hapeksi ja vedeksi, ja veressä olevat entsyymit nopeuttavat hajoamista. Vapautuva happi tuhoaa haavassa olevia mikrobeja hapettamalla niiden molekyylejä.

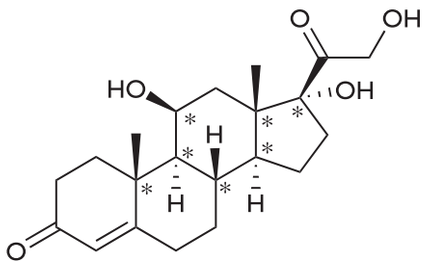
e) Titaanioksidi on hohtavan valkoinen pigmentti, joka heijastaa ja sirottaa UV-säteilyä. Siten se estää UV-säteilyn pääsyä ihosolujen sisään, missä se voisi vaurioittaa DNA:ta ja aiheuttaa siten esimerkiksi syöpää.

f) Jos soluilla ei ole käytettävissään riittävästi happea, ne vapauttavat energiaa maitohappokäymisellä, jossa syntyy maitohappoa. Maitohapon kertyminen lihakseen aiheuttaa kipua ja väsymystä.

188.

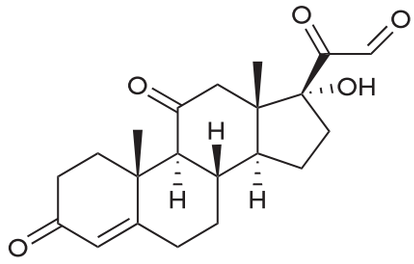
a) Kortisolin rakenteessa esiintyy kaksi karbonyyli(C=O)-ryhmää / ketoniryhmää, yksi kaksoissidos (>C=C<) ja kolme hydroksyyliryhmää.

b)

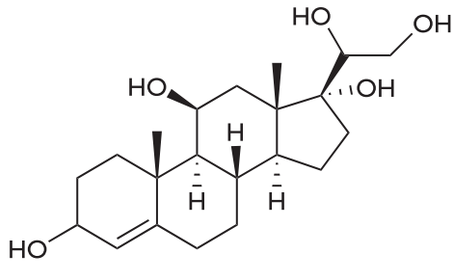


c) Mahdollisia reaktioita:

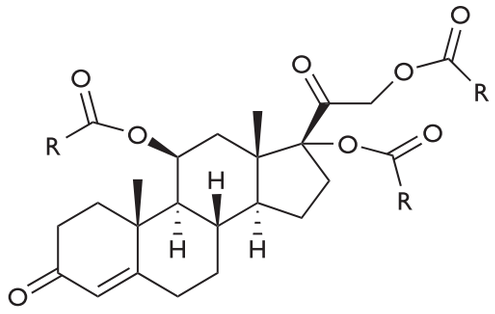
- kortisolin sekundaarinen hydroksyyliryhmä hapettuu ketoniksi ja primäärinen hydroksyyliryhmä aldehydiksi/karboksyylihapoksi (kuvassa esimerkki)



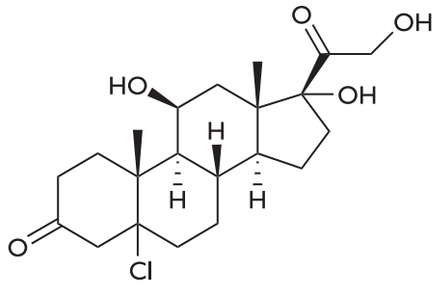
- kortisolin karbonyyliryhmät pelkistyvät alkoholiryhmiksi



- kortisoli voi esteröityä kaikista kolmesta molekyylin hydroksyyliryhmästä karboksyylihappojen kanssa (kuvassa esimerkki)



- hiiliatomien välinen kaksoissidos reagoi esimerkiksi vedyn tai halogeenin kanssa ja tapahtuu additioreaktio (kuvassa esimerkki).



11 Materiaalikemia

Tehtävien 189–195 ratkaisut

189.

a) Metallihilassa atomien ulkoelektronit liikkuvat metalli-ionien välissä vapaasti. Ne siirtyvät helposti korkeammalle energiatasolle, jos ne saavat ylimääräistä energiaa esimerkiksi valosta. Kun valo osuu metallin pintaan, se virittää metallihilan vapaita elektroneja. Viritystilat purkautuvat saman tien ja valo heijastuu takaisin (metallinkiilto). Se osa valosta, joka ei heijastu, absorboituu metallihilan elektronien energiaksi, eikä siis tule toiselta puolelta läpi (läpinäkymättömyys). Sähkönjohtavuus perustuu metallihilan vapaasti liikkuviin elektroneihin. Taottavuus perustuu siihen, että metallihilan sidoselektronit liikkuvat vapaasti metalli-ionien välissä ja toimivat ikäänkuin ”joustavana liimana” niiden välissä.

b) Metallia taivuttaessa metalli-ionit liikkuvat, ja hilan rakenne kärsii vähitellen. Pieni muutos hilan rakenteessa ei haittaa, mutta kun muutoksia kertyy useita, hila murtuu.

190.

- Rikkidioksidin talteenotto on kehittynyt viime vuosikymmeninä huomattavasti. Sitä voidaan sitoa kalsiumyhdisteiksi, esim.

  $CaCO_3(s) + SO_2(g) \rightarrow CaSO_3(s) + CO_2(g)$

  tai käyttää rikkihapon tai lannoitteiden valmistukseen.

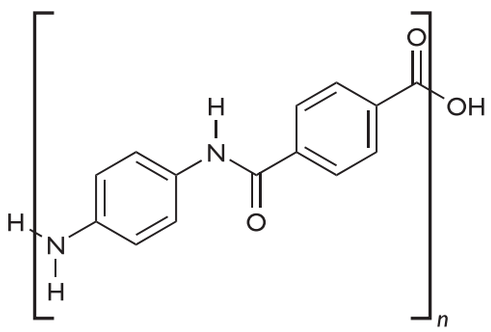
- Suomessa metalliteollisuus on melko energiatehokasta, ja suuria vähennyksiä energiankulutukseen ei liene näköpiirissä, koska metallien sulatukseen tarvitaan paljon energiaa.

- Ympäristövaikutuksia voidaan kuitenkin pienentää esimerkiksi käyttämällä uusiutuvaa energiaa ja kierrättämällä metallimateriaaleja. Kierrätys vaatii huomattavasti vähemmän energiaa kuin uuden metallin valmistaminen malmista.

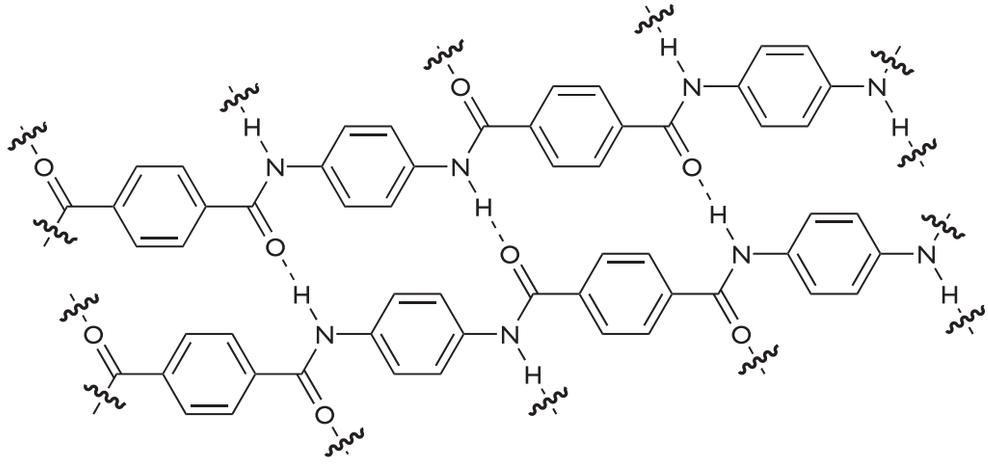
- Suljetut kierrot: haitallisten kemikaalien ja metallien pääsyä ympäristöön vähennetään varastoimalla ja käyttämällä niitä kontrolloidusti ja hävittämällä jätteet asianmukaisesti.

191.

a)

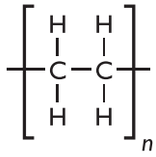


b) Kyseessä ovat vetysidokset, joita syntyy vedyn ja elektronegatiivisten happiatomien välille.

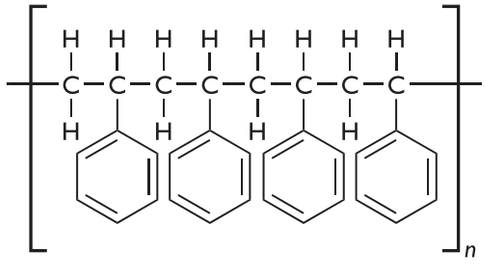


192.

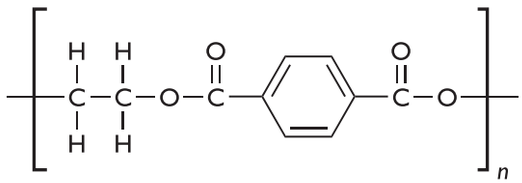
a) Polyadditio: kaksoissidos avautuu ja molekyylit liittyvät yhteen, ei sivutuotteita.



b) Polyadditio.



c) Polykondensaatio: ei hiili-hiili-kaksoissidosta, joka voisi reagoida; reaktiossa lohkeaa pieni molekyyli, tässä vesi.



193.

a) Kalkin polttaminen tarkoittaa sitä, että kalkkikiveä eli kalsiumkarbonaattia kuumennetaan, jolloin se hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi.

$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

Kalkin sammuttaminen tarkoittaa sitä, että poltettu kalkki sekoitetaan veteen ja muodostuu kalsiumhydroksidia:

$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(s)$

b) Kalsiumkarbonaatti on emäksinen suola, ja hapot liuottavat sitä.

c) Kalkin poltossa syntyy hiilidioksidia, joka kiihdyttää kasvihuoneilmiötä.

194.

a) Lasi on keraameihin kuuluva amorfinen aine, eli sillä ei ole säännöllistä kiderakennetta. Yleisimmän lasilaadun, natronlasin rakennetta kuvataan kaavalla $NaSiO_3 \cdot CaSiO_3 \cdot nSiO_2$. Lasi on yleensä kovaa, läpinäkyvää ja kestää kohtalaisesti kuumuutta. Se on kuitenkin haurasta ja särkyy helposti. Eri käyttötarkoituksiin valmistetaan erilaisia laseja, esimerkiksi kuumennuksen kestävää Pyrex-lasia.

b) Puu on luonnonmateriaali, jota voidaan kemiallisesti kuvata selluloosan ja ligniiniin muodostamaksi komposiittimateriaaliksi. Selluloosa on glukoosimonomeereistä muodostuva polymeeri, joka on lujaa ja hajoaa hitaasti. Selluloosaa lujittavat vierekkäisten selluloosamolekyylien väliset vetysidokset. Ligniini sitoo selluloosakuituja yhteen ja vahvistaa siten rakennetta.

c) Muovi muodostuu polymeeristä, esimerkiksi polyeteenistä ja siihen lisätyistä lisäaineista. Jälkimmäisillä säädellään muovin ominaisuuksia, esimerkiksi pehmeyttä tai väriä.

d) Teräs koostuu raudasta ja siihen lisätyistä muista alkuaineista, esimerkiksi nikkelistä ja kromista. Näillä metallin ominaisuuksia muokataan haluttuun suuntaan, esimerkiksi parannetaan korroosionkestävyyttä ja lujuutta.

195.

Ammoniakin valmistus Haber-Boschin menetelmällä vedystä ja typestä on kuvailtu tarkemmin tämän kappaleen ylioppilastehtävässä. Ammoniakkia käytetään esim. typpihapon valmistuksessa ja lannoitteissa.

Typpihappoa valmistetaan ammoniakista:

poltto typpimonoksidiksi

$$4\,NH_3(g) + 5\,O_2(g) \rightleftharpoons 4\,NO(g) + 6\,H_2O(g) \qquad \Delta H < 0$$

hapetus typpidioksidiksi

$$2\,NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\,NO_2(g) \qquad \Delta H < 0$$

imeytys veteen → typpihappo

$$3\,NO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2\,HNO_3(aq) + NO(g) \qquad \Delta H < 0$$

Syntynyt typpihappo on väkevyydeltään n. 60-prosenttista, ja se voidaan väkevöidä tislaamalla. Typpihappoa käytetään esim. lannoitteiden ja räjähteiden valmistuksessa. Se on vahva hapetin.

Rikkihapon valmistus:

– Lähtöaineena usein metalli- tai muun teollisuuden sivutuotteena syntynyt rikkidioksidi tai öljynjalostuksessa syntynyt rikki. Rikkidioksidi hapetetaan rikkitrioksidiksi divanadiinipentaoksidin (V_2O_5) toimiessa katalyyttinä:

  $$2\,SO_2(g) + O_2 \rightleftharpoons 2\,SO_3(g) \qquad \Delta H = -98\ \text{kJ}$$

Tasapainoa voidaan siirtää tuotteiden suuntaan lisäämällä painetta ja happea. Syntynyt rikkitrioksidi imeytetään väkevään rikkihappoon, jonka pitoisuus on 98,5 %. Rikkitrioksidi reagoi veden kanssa muodostaen rikkihappoa:

$$SO_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2SO_4(l) \qquad \Delta H = -132\ \text{kJ}$$

Väkevä rikkihappo laimennetaan usein käyttöä varten. Rikkihappoa käytetään esimerkiksi lannoitteiden valmistuksessa ja katalyyttinä. Sen kykyä sitoa vettä hyödynnetään useissa prosesseissa, joissa vettä poistamalla saadaan ohjattua reaktiota haluttuun suuntaan.

11 Materiaalikemia

Ylioppilastehtävien 196–201 ratkaisut

196.

Lasketaan lähtöaineiden ainemäärät, jotta saadaan selville rajoittava reagenssi.

$$n(\mathrm{TiCl_4}) = \frac{m(\mathrm{TiCl_4})}{M(\mathrm{TiCl_4})} = \frac{35400\ \mathrm{g}}{189{,}69\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 186{,}62\ \mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{Mg}) = \frac{m(\mathrm{Mg})}{M(\mathrm{Mg})} = \frac{8300\ \mathrm{g}}{24{,}31\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 341{,}42\ \mathrm{mol}$$

Reaktioyhtälön perusteella:

$n(\mathrm{TiCl_4}) = 0{,}5 \cdot n(\mathrm{Mg}) = 0{,}5 \cdot 341{,}42\ \mathrm{mol} = 170{,}71\ \mathrm{mol}$

eli kaikki titaanikloridi ei kulu reaktiossa, vaan Mg on rajoittava lähtöaine.

Reaktioyhtälön mukaan

$n(\mathrm{Ti}) = n(\mathrm{TiCl_4}) = 0{,}5 \cdot n(\mathrm{Mg}) = 170{,}71\ \mathrm{mol}$

$$m(\mathrm{Ti}) = n(\mathrm{Ti}) \cdot M(\mathrm{Ti}) = 170{,}71\ \mathrm{mol} \cdot 47{,}88\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = 8174\ \mathrm{g} \approx 8{,}2\ \mathrm{kg}.$$

Vastaus: Titaania voidaan saada 8,2 kg.

197.

Käsittele ainakin seuraavia asioita ja höystä vastausta reaktioyhtälöillä ja rakennekaavoilla:

- Orgaaniset polymeerit rakentuvat pienikokoisista orgaanisista yhdisteistä, monomeereistä. Ne liittyvät yhteen polyadditio- tai polykondensaatioreaktiossa.
- Synteettiset polymeerit ovat teollisesti valmistettuja erotuksena luonnon polymeereistä (esim. tärkkelys, selluloosa).
- Polyadditiossa monomeerissa on kaksois- tai kolmoissidos, joka aukeaa, ja monomeerit liittyvät yhteen. Esimerkkinä polyeteeni ja polystyreeni.

- Polykondensaatiossa kaksi molekyyliä reagoi ja lohkeaa vesi tai muu pienimolekyylinen yhdiste. Esim. polyamidit, polyesterit.

- Polymeerien ominaisuudet eroavat esimerkiksi lujuuden, jäykkyyden ja uudelleen muokattavuuden perusteella.

- Lujuutta lisäävät esim. polymeeriketjujen väliset vetysidokset.

- Synteettisistä polymeereistä valmistetaan muoveja lisäämällä niihin sopivia lisäaineita (esim. pehmentimet).

- Kestomuovit koostuvat pitkistä polymeeriketjuista, joiden välillä vaikuttavat vain dispersiovoimat. Ne ovat siksi helposti uudelleen muovattavia. Kertamuovien rakenne on jäykkä, eikä niitä voi muokata uudelleen.

- Erilaiset käyttökohteet, esim. komposiitit, kuidut, elastomeerit.

198.

Käsittele ainakin seuraavia asioita (selitä nämä reaktioyhtälöiden ja esimerkkiyhdisteiden avulla):

- Räjähdysvaikutus perustuu nopeaan, voimakkaasti eksotermiseen reaktioon, jonka tuotteina on paljon kaasuja. Nämä aiheuttavat voimakkaan paineaallon.

- Räjähdemolekyylit pysymättömiä, tuotteet pysyviä. Turvallisen käytön edellytyksenä on lisäksi, että räjähdys ei tapahdu itsestään. Tämä saadaan aikaan esim. erillisellä sytytysaineella, joka reagoi ensin ja jonka tuottama lämpö käynnistää räjähdyksen.

- Räjähteessä usein mukana happea luovuttava aine, esim. ruudissa KNO_3. Tätä tarvitaan siksi, että räjähdys tapahtuisi riittävän nopeasti pienessäkin tilassa.

- Esimerkkejä räjähteistä (piirrä rakennekaavat tai selitä kemiallinen koostumus): nitroglyseroli, ruuti, nitroselluloosa.

- Käyttötarkoitukset: esim. aseet, ilotulitteet, rakentaminen ja louhiminen.

199.

a) $4\ Au(s) + 16\ CN^-(aq) + 3\ O_2(g) + 6\ H_2O(l) \rightarrow 4\ Au(CN)_4^-(aq) + 12\ OH^-(aq)$

$2\ Au(CN)_4^-(aq) + 3\ Zn(s) + 4\ CN^-(aq) \rightarrow 2\ Au(s) + 3\ Zn(CN)_4^{2-}(aq)$

b) $n(Zn) = \frac{3}{2} n(Au) = \frac{3}{2} \cdot \frac{31{,}3\ g}{196{,}97\ \frac{g}{mol}} = 0{,}238361\ mol$

$m(Zn) = 0{,}238361\ mol \cdot 65{,}39\ \frac{g}{mol} \approx 15{,}6\ g$

Vastaus: Sinkkiä tarvitaan 15,6 g.

200.

Käsittele ainakin seuraavia asioita (käytä vastauksessasi esimerkkiyhdisteiden kemiallisia kaavoja ja reaktioyhtälöitä):

- Natrium- ja kupariatomien rakenne, tavallisimmat hapetusluvut (löytyvät esim. taulukkokirjasta).
- Ominaisuudet metalleina. (Natrium: pehmeä, erittäin helposti reagoiva, säilytettävä hapelta ja vedeltä suojattuna esim. paloöljyssä. Kupari: melko lujaa, ei kovin helposti reagoiva, pinnalle syntyvä oksidi- ja karbonaattikerros eli patina suojaa korroosiolta, erittäin hyvä sähkön- ja lämmönjohtavuus.)
- Missä muodossa esiintyvät luonnossa? (Natrium: ei käytännössä esiinny puhtaana alkuaineena vaan ioniyhdisteinä, esim. NaCl. Kupari: esiintyy luonnossa sulfideina, oksideina ja karbonaatteina, esim. kuparikiisu. Esiintyy jonkin verran myös puhtaana alkuaineena).
- Tuottaminen (natrium elektrolyysillä, kupari pelkistämällä kuparikiisusta).
- Yleisimmät yhdisteet ja reaktiot. (Natrium reagoi herkästi luovuttaen elektronin ja muodostaa siis ioniyhdisteitä. Veden kanssa reagoidessaan muodostaa natriumhydroksidia. Kupari ei reagoi kovin helposti eikä reagoi useimpien happojenkaan kanssa, se on jalo metalli. Liukenee typpihappoon muodostaen nitraatin. Kirjoita muutamia esimerkkireaktioiden yhtälöitä.).
- Käyttö. Kupari esim. sähkönjohteena (erityisesti elektroniikkateollisuudessa), vesiputkissa ja seoksissa (esim. messinki ja pronssi). Natrium esim. kemianteollisuudessa (esim. natriumperoksidin valmistuksessa), natriumlapuissa ja ydinvoimaloissa lämmönsiirtoaineena.

201.

- Teollinen valmistaminen Haber-Bosch-prosessilla, jossa ammoniakkia muodostuu typestä ja vedystä tasapainoreaktiossa: $N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3(g)$ $\Delta H = -92\text{kJ}$

- Reaktio on eksoterminen → korkea paine ja matala lämpötila lisäävät ammoniakin muodostumista. Korkean paineen tuottaminen on kallista, ja reaktio on erittäin hidas matalassa lämpötilassa, joten prosessi on säädetty myös näiden kriteerien mukaan mahdollisimman tuottavaksi: lämpötila on melko korkea (400–500 °C) ja paine 80–350 bar (8–35 MPa).

- Katalyytti (esim. Fe_3O_4 tai Pt/Rh) mahdollistaa paineen alentamisen. Se nopeuttaa reaktiota ja pienentää prosessin energiankulutusta.

- Laboratoriomittakaavassa ammoniakkia voidaan valmistaa väkevästä emäksestä ja ammoniumsuolasta, esim. $NaOH(s) + NH_4Cl(aq) \rightarrow NH_3(g) + H_2O(l) + NaCl(aq)$

- Ammoniakkimolekyylin rakenne:
  - Typpiatomiin on sitoutunut kolme vetyatomia ja typpiatomilla on yksi vapaa elektronipari. Typpi muodostaa siis neljä sp^3-hybridiorbitaalia, joista yksi muodostuu vapaasta elektroniparista. Vapaa elektroniparin tilan tarve taivuttaa ammoniakkimolekyylin pyramidiksi, jossa N–H-sidokset suuntautuvat tetraedrisesti, ja sidosten väliset kulmat < 109°.
  - Typpiatomi vetää sidoselektroneja puoleensa, minkä vuoksi molekyyli on voimakkaasti poolinen ja liukenee siksi helposti veteen.

- Kemialliset ominaisuudet:
  - Ammoniakkimolekyylin typpiatomin vapaa elektronipari mahdollistaa protonin liittymisen ja ammoniakin liuetessa tapahtuu protolyysireaktio:

    $NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$
  - Ammoniakki on siis heikko emäs, ja vastaavasti syntyvä ammoniumioni NH_4^+ on heikko happo.

- Fysikaaliset ominaisuudet:
  - Ammoniakki on huoneenlämpötilassa kaasu (katso kiehumis- ja sulamispisteet taulukkokirjasta). Vetysidosten takia sen kiehumispiste on korkea verrattuna muihin samankokoisista molekyyleistä koostuviin aineisiin.